

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

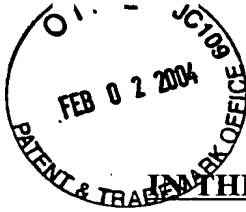
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



Docket No. 1232-5226

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): KAWASHIMA, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/732,768

Examiner: TBA

Filed: December 9, 2003

For: EXPOSURE APPARATUS AND METHOD

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

I hereby certify that the attached:

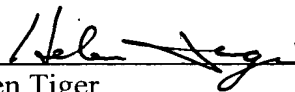
1. Claim to Convention Priority w/ document
2. Certificate of Mailing
3. Return Receipt Postcard

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: January 28, 2004

By:


Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile



Docket No.:1232-5226

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): KAWASHIMA, et al.

Group Art Unit TBA

Serial No.: 10/732,768

Examiner: TBA

Filed: December 9, 2003

For: EXPOSURE APPARATUS AND METHOD

CLAIM TO CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

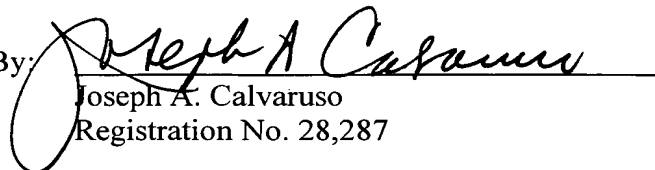
In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

Application(s) filed in: Japan
In the name of: Canon Kabushiki Kaisha
Serial No(s): 2002-358764
Filing Date(s): December 10, 2002

- ☒ Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.
- ☐ A duly certified copy of said foreign application is in the file of application Serial No. _____, filed _____.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: January 26, 2004

By: 
Joseph A. Calvaruso
Registration No. 28,287

Correspondence Address:
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 2 月 1 0 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 5 8 7 6 4
Application Number:

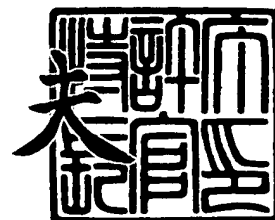
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 3 5 8 7 6 4]

出 願 人 キヤノン株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 1 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 251118

【提出日】 平成14年12月10日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027
G03F 7/20

【発明の名称】 露光方法及び装置

【請求項の数】 4

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 川島 美代子

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100110412

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤元 亮輔

【電話番号】 03-3523-1227

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 062488

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0010562

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
【発明の名称】 露光方法及び装置
【特許請求の範囲】

【請求項1】 被露光体の表面及び投影光学系の最終面を液体に浸漬し、マスクに形成された繰り返しパターンを前記投影光学系により前記被露光体上に投影する露光方法において、

前記投影光学系の瞳に形成される有効光源のうちの前記繰り返しパターンの繰り返し方向に平行で且つ前記投影光学系の光軸に直交する軸上の部分から発して前記レジストに斜入射する光の前記被露光体への入射角を θ 、該入射角 θ の最大値を θ_{NA} とした時に、 $90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$ を満足する入射角 θ の範囲に対応する光がS偏光成分のみを有することを特徴とする露光方法。

【請求項2】 マスクに形成されたパターンを被露光体に、少なくとも一部が液体に浸漬された投影光学系を利用して結像する露光方法において、

結像する2つの露光光束に直交状態が発生しうる、前記投影光学系の瞳に形成される有効光源上の領域を、S偏光成分のみで構成することを特徴する露光方法。

【請求項3】 被露光体の表面及び投影光学系の最終面を液体に浸漬し、マスクパターンを前記投影光学系により前記被露光体上に投影する露光方法において、前記投影に用いる光の波長を λ (nm)、前記液体の屈折率を n_0 、前記投影光学系の開口数を $n_0 \sin \theta_0$ とを、前記液体の前記投影光学系の光軸方向の厚さを d とすると、 $d \leq 3000 \lambda \cos \theta_0$ を満足することを特徴する露光方法。

【請求項4】 液体と接触する投影光学系の最終面は蛍石基板上の面であり、該最終面にスパッタ膜を形成することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般には、IC、LSIなどの半導体チップ、液晶パネルなどの表示素子、磁気ヘッドなどの検出素子、CCDなどの撮像素子といった各種デバイ

ス、マイクロメカニクスで用いる微細パターンの製造に用いられる露光方法及び装置に係り、特に、投影光学系の最終面と被露光体の表面を液体に浸漬して当該液体を介して被露光体を露光するいわゆる液浸型の露光方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

フォトリソグラフィー（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子又は液晶表示素子を製造する際に、レチクル又はマスク（本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する。）に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する縮小投影露光装置が従来から使用されている。

【0003】

縮小投影露光装置で転写できる最小の寸法（解像度）は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数（NA）に反比例する。従って、波長を短くすればするほど、及び、NAを上げれば上げるほど、解像度はよくなる。近年では、半導体素子の微細化への要請に伴い、解像度はより小さい値を要求されている。従って露光光の短波長化とともに、投影光学系の高NA化により解像度の向上を見込んでいる。現在、投影光学系のNAは加速度的に進み、NA=0.9を超える光学系の開発が視野に入っている。

【0004】

一方、露光装置の光源は短波長化に伴いKrFレーザ（波長248nm）からArFレーザ（波長193nm）へと変化してきた。現在は次の光源としてF₂レーザ（波長157nm）、あるいはEUV（13.5nm）の実現にむけて開発が進められている。

【0005】

このような中で、ArFレーザ（波長193nm）やF₂レーザ（波長157nm）の光源を用いながら、更に解像度をあげる方法として、液浸露光が着目されている（例えば、特許文献1参照）。液浸露光は、投影光学系のウェハ側の媒質を液体にすることによって高NA化をさらに進めるものである。つまり投影光学系のNAは媒質の屈折率をnとすると、 $NA = n \cdot \sin \theta$ であるので、空気

の屈折率よりも高い屈折率 ($n > 1$) の媒質を満たすことで NA は n まで大きくすることができる。

【特許文献 1】

特開平 10-303114 号公報

【特許文献 2】

米国特許第 4346164 号明細書

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、高 NA 化が進むにつれ、結像性能への光の偏光の影響が無視できなくなる。光のウエハへの入射角が大きいほど、光の偏光方向による結像性能に差を生じてしまうためである。

【0007】

光の偏光による結像性能への影響は、3 光束干渉より 2 光束干渉の方がはるかに大きい。なぜなら、0 次回折光と ± 1 次回折光の計 3 つの光が干渉することによって結像する 3 光束干渉は、結像の基本周波数を形成する 0 次光と 1 次回折光、及び 0 次項と -1 次回折光の角度が 90° には達しないため偏光の影響が大きく現れないのに対し、2 光束干渉による結像は、位相シフトマスクのような 2 つの 1 次回折光が干渉する場合や、斜入射照明のような 0 次回折光と ± 1 次のうちどちらか 1 つの回折光が干渉する場合があるが、基本周波数を形成する 2 光束の角度が大きくなるため偏光による結像性能への影響が大きく現れるからである。

【0008】

更に、媒質が液体になると、光の偏光方向によってまったく結像しなくなる条件が存在するという大きな問題が生じる。これは従来の非液浸光学系では起こらなかった現象である。これは、図 16 (a) に示すように、紙面内で交わる 2 光束結像を考えた時、偏光方向が紙面内にある P 偏光は 2 光束のなす角が 90° であると干渉しないため、結像に寄与しなくなるという問題である。2 光束のなす角が 90° である場合は入射角は 45° であるから、その正弦は $\sin 45^\circ = 0.7$ となる。

【0009】

一方、図16(b)に示すように、偏光方向が紙面と直交する方向にあるS偏光の2光束は、偏光方向が一致するためコントラストのよい結像を行う。以下、本出願では、コントラストのよい結像を行う偏光方向をS偏光成分と定義する。S偏光とは、ここで述べたように、紙面内で交わる光束に対し、紙面に直交する偏光方向を持つ。偏光方向は、パターンが形成される方向と密接に関係しており、2光束で形成される干渉縞の方向を考えると、干渉縞の一本一本の長手方向とS偏光の方向が一致している。従って、X方向に伸びる微細構造をもつ干渉パターンを作る際のS偏光の方向はX方向、Y方向に伸びる微細構造をもつ干渉パターンを作る際のS偏光の方向はY方向となる。

【0010】

ここで、投影光学系とウェハとの間の媒質の屈折率を n_o 、媒質中での角度を θ_o 、ウェハに形成されたレジストの屈折率を n_r とし、レジストの入射角が $\pm\theta_r$ の2光束が干渉して像を形成する2光束干渉について考える。Snellの法則より、以下の数式1が成立する。

【0011】

【数1】

$$n_r \sin \theta_r = n_o \sin \theta_o$$

【0012】

媒質が空気の場合は、 $n_o = 1$ 、 $\sin \theta_o < 1$ であるから、以下の数式2が成立する。

【0013】

【数2】

$$n_r \sin \theta_r = n_o \sin \theta_o < 1$$

【0014】

A r F エキシマレーザーの場合、典型的なレジスト屈折率は $n_r = 1.7$ であるから、数式 2 より、 $\sin \theta_r < 0.59$ となる。このように、媒質が空気の場合、レジスト中での角度 θ_r が $\sin \theta_r = 0.7$ となることはない。

【0015】

一方、媒質が液体である液浸について考える。媒質の屈折率を $n_o = 1.47$ とすると、以下の数式 3 が成立する。

【0016】

【数 3】

$$n_r \sin \theta_r = n_o \sin \theta_o < 1.47$$

【0017】

レジスト屈折率は通常、 $n_r = 1.7$ であるから $\sin \theta_r < 0.86$ となる。従って、媒質が液体の場合では $\sin \theta_r = 0.7$ となる条件が存在する。

【0018】

このように、媒質が空気の場合は $\sin \theta_r = 0.7$ となることはなかったが、媒質が液体になると $\sin \theta_r = 0.7$ となる条件が存在し、P 偏光が干渉しなくなり、P 偏光の光束によるコントラストはゼロとなる。照明光が偏光を考慮しない無偏光状態であると、入射光の半分の割合を占める S 偏光のみが結像に関与するので、コントラストが半分になり、非液浸系では問題とならなかったコントラスト低下が顕著になる。

【0019】

例えば、A r F エキシマレーザーの場合は媒質を水として $n_o = 1.47$ とすると、以下の数式 4 が成立する。

【0020】

【数 4】

$$\sin \theta_o = (n_r / n_o) \sin \theta_r = 1.7 / 1.47 \cdot \sin 45^\circ = 0.81$$

【0021】

この結果、媒質が水の場合は、 $\sin \theta_0 = 0.81$ においてP偏光が干渉しない条件となる。従って、媒質への入射角 $\sin \theta_0 = 0.8$ の近傍でP偏光が結像しなくなる。液浸露光が必要となる時には光学系が $\sin \theta_0 = 0.8$ 以上の角度を有する光学系も希求されているのでこの問題は避けられないことになる。また、F₂エキシマレーザーの場合にもレジストの屈折率が1.5強でと媒質の屈折率が1.36付近であるため $\sin \theta_0 = 0.8$ 付近で同様の関係が成立する。

【0022】

NAを大きくするためにはレジストと液体の屈折率をあげ、屈折率差は小さくしたほうがよいことが知られている。レジストと液体の屈折率はそれらの物質により異なり、レジストと液体の屈折率差は小さい方が好ましい（特許文献2）が、媒質中の $\sin \theta_r$ はレジスト中の $\sin \theta_0$ より若干大きい。液浸専用のレジストを開発する方向性を考慮すると、露光装置側では媒質中の $\sin \theta_r$ はレジスト中の $\sin \theta_0$ とほとんど等価と設定する方が好ましいことが発明者らの分析により判明した。従って、P偏光が干渉しなくなる条件は、 $\sin \theta_0 \doteq \sin \theta_r = 0.7$ と考えてよい。

【0023】

上述したように、微細パターンを形成するためには投影光学系の高NA化が必要であるが、液浸型投影光学系では高NA化による偏光の影響により結像性能が低減し、所望のパターンを形成することができない。そこで、本発明は、偏光の影響による結像性能の劣化を防止して所定のコントラストを確保し、所望のパターンを形成することができる液浸型の露光方法及び装置を提供することを例示的な目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】

本発明の一側面としての露光方法は、被露光体の表面及び投影光学系の最終面を液体に浸漬し、マスクに形成された繰り返しパターンを前記投影光学系により前記被露光体上に投影する露光方法において、前記投影光学系の瞳に形成される有効光源のうちの前記繰り返しパターンの繰り返し方向に平行で且つ前記投影光

学系の光軸に直交する軸上の部分から発して前記レジストに斜入射する光の前記被露光体への入射角を θ 、該入射角 θ の最大値を θ_{NA} とした時に、 $90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$ を満足する入射角 θ の範囲に対応する光がS偏光成分のみを有することを特徴とする。

【0025】

【発明の実施の形態】

以下、図1を参照して、本発明の一実施形態としての露光装置100について説明する。ここで、図1は、露光装置100の概略ブロック図である。図1に示すように、露光装置100は、照明装置110と、マスク又はレチクル130と、レチクルステージ132と、投影光学系140と、主制御ユニット150と、モニタ及び入力装置152と、ウェハ170と、ウェハステージ176と、媒質としての液体180とを有する。このように、露光装置100は、投影光学系140のウェハ170側にある最終面が部分的に又は全体的に液体180に浸漬し、液体180を介してマスクMSに形成されたパターンをウェハWに露光する液浸型の露光装置である。本実施形態の露光装置100は、ステップアンドスキャン方式の投影露光装置であるが、本発明はステップアンドリピート方式その他の露光方式を適用することができる。

【0026】

照明装置100は転写用の回路パターンが形成されたマスク200を照明し、光源部と照明光学系とを有する。

【0027】

光源部は、光源としてのレーザー112と、ビーム整形系114とを含む。レーザー112は、波長約193nmのArFエキシマレーザー、波長約248nmのKrFエキシマレーザー、波長約157nmのF₂エキシマレーザーなどのパルスレーザーからの光を使用することができる。レーザーの種類、個数は限定されず、光源部の種類も限定されない。

【0028】

ビーム整形系114は、例えば、複数のシリンドリカルレンズを備えるビームエクスパンダ等を使用することができ、レーザー112からの平行光の断面形状

の寸法の縦横比率を所望の値に変換する（例えば、断面形状を長方形から正方形にするなど）ことによりビーム形状を所望のものに成形する。ビーム成形系 114 は、後述するオプティカルインテグレーター 118 を照明するのに必要な大きさと発散角を持つ光束を形成する。

【0029】

照明光学系は、マスク 120 を照明する光学系であり、本実施形態では、集光光学系 116 と、偏光制御手段 117 と、オプティカルインテグレーター 118 と、開口絞り 120 と、集光レンズ 122 と、折り曲げミラー 124 と、マスキングブレード 126 と、結像レンズ 128 とを含む。照明光学系は、軸上光、軸外光を問わず使用することができる。

【0030】

集光光学系 116 は、必要な折り曲げミラーやレンズ等を含み、それを通過した光束をオプティカルインテグレーター 118 に効率よく導入する。例えば、集光光学系 116 は、ビーム成形系 114 の出射面と後述するハエの目レンズとして構成されたオプティカルインテグレーター 118 の入射面とが光学的に物体面と瞳面（又は瞳面と像面）の関係（かかる関係を本出願ではフーリエ変換の関係と呼ぶ場合がある）になるように配置されたコンデンサーレンズを含み、それを通過した光束の主光線をオプティカルインテグレーター 118 の中心及び周辺のどのレンズ素子 142 に対しても平行に維持する。

【0031】

集光光学系 116 は、マスク 130 への照明光の露光量を照明毎に変更可能な露光量調整部を含む。露光量調整部は、主制御ユニット 150 によって制御され、アフォーカル系の各倍率を変えることにより入射光束のビーム断面形状を変化したり、ズームレンズ等からなり、レンズを光軸方向に移動させ角倍率を変化したりするように構成されている。

【0032】

偏光制御手段 117 は、例えば、偏光素子を含み、投影光学系 140 の瞳 142 とほぼ共役な位置に配置される。偏光制御手段 117 は、後述するように、瞳 142 に形成される有効光源の所定の領域の偏光状態を制御する。複数種類の偏

光素子からなる偏光制御手段 117 が図示しないアクチュエータによって回転可能なターレット上に設けられて主制御ユニット 150 がかかるアクチュエータの駆動を制御してもよい。

【0033】

オプティカルインテグレーター 118 はマスク 130 に照明される照明光を均一化し、本実施形態では、入射光の角度分布を位置分布に変換して出射するハエの目レンズとして構成される。ハエの目レンズは、その入射面と出射面とがフーリエ変換の関係に維持され、ロッドレンズ（即ち、微小レンズ素子）を多数組み合わせることによって構成されている。但し、本発明が使用可能なオプティカルインテグレーター 118 はハエの目レンズに限定されず、光学ロッド、回折格子、各組が直交するように配置された複数の組のシリンドリカルレンズアレイ板などを含む。

【0034】

オプティカルインテグレーター 118 の出射面の直後には、形状及び径が固定された開口絞り 120 が設けられている。開口絞り 120 は、後述するように、投影光学系 140 の瞳 142 に形成される有効光源とほぼ共役な位置に配置され、開口絞りの 120 の開口形状は投影光学系 140 の瞳面 142 の有効光源形状に相当する。開口絞り 120 は、後述するように、有効光源の形状を制御する。開口絞り 120 は、照明条件に応じて絞り交換機構（アクチュエータ） 121 によって、後述する種々の開口絞りが光路中に位置するように切り替え可能となっている。アクチュエータ 121 の駆動は、主制御ユニット 150 によって制御される駆動制御ユニット 151 によって制御される。なお、開口絞り 120 は、偏光制御手段と一体に構成されてもよい。

【0035】

集光レンズ 122 はオプティカルインテグレーター 118 の射出面近傍の 2 次光源から射出し、開口絞り 120 を透過した複数の光束を集光し、ミラー 124 で反射させて被照斜面としてのマスキングブレード 126 面を均一にケーラー照明によって照明する。

【0036】

マスキングブレード 126 は複数の可動遮光板より構成され、任意の開口形状、例えば、投影光学系 140 がレンズタイプの場合はほぼ矩形の開口を有している。マスキングブレード 126 の開口部を透過した光束を被照明面としてのマスク 130 の照明光として使用する。マスキングブレード 126 は開口幅を自動可変な絞りであり、後述するウェハ 170 の（開口スリットの）転写領域を縦方向で変更可能にする。また、露光装置 100 は、ウェハ 170 の（1 ショットのスキャン露光領域としての）転写領域の横方向を変更可能にする、上述のマスキングブレードと類似した構造のスキャンブレードを更に有してもよい。スキャンブレードも開口幅が自動可変できる絞りであり、マスク 12 面と光学的にほぼ共役な位置に設けられる。露光装置 100 は、これら二つの可変ブレードを用いることによって露光を行うショットの寸法に合わせて転写領域の寸法を設定することができる。

【0037】

結像レンズ 128 は、マスキングブレード 126 の開口形状を被照斜面としてのレチクル 130 面に転写し、レチクル 130 面上のパターンを図示しないウェハチャックに載置したウェハ 170 面上に縮小投影する。

【0038】

マスク 130 は、その上に転写されるべきパターン又は像を形成され、マスクステージ 132 に支持及び駆動される。マスク 130 から発せられた回折光は投影光学系 140 を通りウェハ 170 上に投影される。ウェハ 170 は、被露光体でありレジスト 172 が基板 174 上に塗布されている。マスク 130 とウェハ 170 とは光学的に共役の関係に配置される。露光装置 100 はステップアンドスキャン方式の露光装置（即ち、スキャナー）であるため、マスク 130 とウェハ 170 を走査することによりマスク 130 のパターンをウェハ 170 上に転写する。なお、ステップアンドリピート方式の露光装置（即ち、「ステッパー」）であれば、マスク 130 とウェハ 170 とを静止させた状態で露光を行う。

【0039】

図 2 にマスクパターンの例を示す。ここで、図 2（a）は、X 軸方向に繰り返す方向を有し、Y 方向に長手方向を有するマスクパターンを示す平面図であり、

図 2 (b) は、Y 軸方向に繰り返し方向を有し、X 方向に長手方向を有するマスクパターンを示す平面図であり、図 2 (c) は、これらが混在したマスクパターンの平面図である。

【0040】

なお、マスク 130 は、バイナリーマスクに限定されず、位相シフトマスクでもよく、マスク 130 に形成されるパターンはコンタクトホールその他のパターンであってもよい。

【0041】

マスクステージ 132 は、マスク 130 を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ 132 及び投影光学系 140 は、例えば、床等に掲載されたベースフレームにダンパ等を介して支持されるステージ鏡筒定盤上に設けられる。マスクステージ 132 は、当業界周知のいかなる構成をも適用できる。図示しない移動機構はリニアモータなどで構成され、XY 方向にマスクステージ 132 を駆動することでマスク 130 を移動することができる。露光装置 100 は、マスク 200 とウェハ 170 を主制御ユニット 150 によって同期した状態で走査する。

【0042】

投影光学系 140 は、マスク 130 に形成されたパターンを経た回折光をウェハ 170 上に結像する機能を有する。投影光学系 300 は、複数のレンズ素子のみからなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系（カタディオプトリック光学系）、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系等を使用することができる。色収差の補正が必要な場合には、互いに分散値（アッベ値）の異なるガラス材からなる複数のレンズ素子を使用したり、回折光学素子をレンズ素子と逆方向の分散が生じるように構成したりする。

【0043】

主制御ユニット 150 は、各部の駆動制御を行うが、特に、モニタ及び入力装置 152 の入力装置から入力される情報、照明装置 100 からの情報、図示しないメモリに格納されたプログラムに基づいて照明装置 100 による照明制御を行

う。より詳細には、主制御ユニット 150 は、後述するように、投影光学系 140 の瞳 142 に形成される有効光源の形状及び偏光状態の制御を行う。主制御ユニット 150 による制御情報やその他の情報はモニタ及び入力装置 152 のモニタに表示される

ウェハ 170 は、別の実施形態では液晶基板その他の被露光体に置換される。ウェハ 170 ではフォトリジスト 172 が基板 174 上に塗布されている。

【0044】

ウェハ 170 はウェハステージ 176 に支持される。ステージ 176 は、当業界で周知のいかなる構成をも適用することができるので、ここでは詳しい構造及び動作の説明は省略する。例えば、ステージ 176 はリニアモータを利用して X Y 方向にウェハ 170 を移動する。マスク 130 とウェハ 170 は、例えば、同期して走査され、マスクステージ 132 とウェハステージ 176 の位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。ステージ 176 は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持されるステージ定盤上に設けられ、マスクステージ 132 及び投影光学系 140 は、例えば、鏡筒定盤は床等に載置されたベースフレーム上にダンパ等を介して支持される図示しない鏡筒定盤上に設けられる。

【0045】

液体 180 には、投影光学系 140 のウェハ 170 への最終面が浸漬され、露光波長の透過率がよく、投影光学系に汚れを付着させず、レジストプロセスとのマッチングが良い物質が選択される。液体 180 にはそれほど選択の自由度がない。したがって屈折率のみでは選べず、液体と最終面を有する屈折部材（レンズ）間の屈折率の違いはコーティングでカバーする。本発明は、液体 180 の種類や屈折率を限定するものではない。

【0046】

以下、主制御ユニット 150 が行う偏光制御について説明する。まず、偏光の効果、図 3 を参照して説明する。ここで、図 3（a）及び図 3（b）は、それぞれ、S 偏光及び P 偏光を定義するための模式図である。図 3（a）に示すように、投影光学系 140 の断面に垂直（即ち、紙面に垂直）な方向に偏光している

光をS偏光、すなわち図16(b)に示すように、2つの結像光束を含む面に垂直に偏光している光をS偏光とする。投影光学系140の断面に平行な方向(即ち、紙面内)に偏光し、図16(a)に示すように2つの結像光束を含む面に平行に偏光している光をP偏光と定義する。換言すれば、光の進行方向をZ軸にとり、Z軸と直交し、2つの結像光束を含む面(紙面)と平行な方向をX軸、2つの結像光束を含む面(紙面)と直交する方向をY軸にとると、S偏光はY軸方向に、P偏光はX軸方向に偏光していることになる。また紙面内に描かれた光束による微細パターンの微細構造の長手方向は紙面に垂直でS偏光と一致している。

【0047】

高NA化で期待される高解像な結像性能を達成するには、結像のコントラストを落とすP偏光の偏光状態の光をカットし、S偏光の光のみを結像させればよい。即ち、図2(a)に示すように、マスクパターンがY軸方向に長い線パターンに対して、矢印で示すY軸方向に偏光方向を有するS偏光を用いて結像させればよい。

【0048】

本実施形態は、液体180中においてパターンの結像光束である回折光の2光束のなす角の $1/2$ を ϕ (deg)としたとき、 $\sin \phi = 0.7$ の角度をなす2光束の形成される可能性のある有効光源の領域をできるだけS偏光のみで構成することを目的としている。

【0049】

かかる領域は、ある実施形態では、0次光と1次光、あるいはレベンソン型位相シフトマスクのように+1次光と-1次光による2光束干渉の場合、液体180内における光の射出角を θ 、最大射出角を θ_{NA} とした場合に、 $90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$ を満足する範囲に対応する瞳142に形成される有効光源上の領域である実際に2光束が 90° をなすのを避けるべきなのはレジスト内であるが液体とレジストの屈折率が近い場合には、 $\theta_0 = \theta_r$ とみなすことができるため、 θ_{NA} を液体中とレジスト共通の最大角と考えることができる。更に別の実施形態においては、かかる領域は、結像する2つの露光光束に直交状態が発生しうる瞳142に形成される有効光源上の領域である。

【0050】

なお、先にS偏光とパターンの方角について述べたが、これを有効光源の瞳座標での表現に直すと次のようになる。即ち、S偏光は、投影光学系140の瞳142で考えた時の照明光の有効光源において、瞳142の中心から引いた放射する線に直交する方角である切線方角に向いた偏光方角をいう。但し、実際には、S偏光は、結像させるパターンの方角によって定まる。実際のLSIパターンはX及びY方角のパターンが多いことから、S偏光といっても基本的にはX又はY方角の偏光方角を持ち、X方角の偏光方角を持った有効光源領域が投影光学系140の瞳142のY軸上に中心を持つ領域に存在し、Y方角の偏光方角を持った有効光源領域が投影光学系の瞳のX軸上に中心を持つ領域に存在する場合も含む。更に、 45° 方角を含む場合には、X、Y、 $\pm 45^\circ$ の4方角を持つような例も含む。

【0051】

上述の条件を更に検討するに、これは、例えば、図16(c)において、を最大の入射角とすると $\sin \theta_{NA} \geq 0.7$ を満足する $\theta_{NA} \geq 45^\circ$ の投影光学系140において、液体180に角度 θ で射出した照明光のうち、以下の数式で表される成分をS偏光にすることによって達成される。

【0052】

【数5】

$$\sin(90^\circ - \theta_{NA}) \leq \sin \theta \leq \sin \theta_{NA}$$

【0053】

【数6】

$$90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$$

【0054】

ここで、図16(c)を参照するに、数式5及び6の θ は、レジスト内部において露光光が基板の表面に垂直な直線とのなす入射角である。また、 θ_{NA} は入射

角 θ の最大値としての露光光の最大入射角である。ここではレジストの屈折率と液体の屈折率はほとんど等しいと仮定した。

【0055】

屈折率を考えず角度だけで、照明光学系の光源分布を瞳 142 に投影した有効光源において有効光源の半径を 1 とし、有効光源の最大半径は σ を考えると数式 6 は、以下の数式 7 の範囲の有効光源を S 偏光にすることに相当する。

【0056】

【数 7】

$$\sigma_{IN} = \sin(90^\circ - \theta_{NA}) / \sin \theta_{NA} \leq \sigma \leq \sigma_{MAX}$$

【0057】

ここで、 σ_{MAX} は、設定した有効光源分布の一番外側に対応するパラメータで、 $\sigma_{MAX} \sin \theta_{NA}$ が液体 180 での照明光の最大角を示している。

【0058】

実際の LSI パターンは X や Y 方向に特定の方向性を持つことが多いので、有効光源の形状にはそれを考慮する必要がある。方向性を考えた場合の有効光源を 2 次元的な分布で示すと図 4 及び図 5 のようになる。ここで、図 4 (a) は、図 2 (a) に示すマスクパターンを露光するための偏光を規定する有効光源分布である。図 4 (b) は、図 2 (b) に示すマスクパターンを露光するための偏光を規定する有効光源分布である。図 5 は、図 2 (c) に示すマスクパターンを露光するための偏光を規定する有効光源分布である。

【0059】

次に、有効光源の領域と偏光方向の関係を、図 6 及び図 7 を参照して説明する。図 2 (a) に示すような Y 方向に平行なマスクパターンの結像について考える。通常の有効光源は、図 6 に示すように、最大半径 1 に正規化された有効光源座標上では半径 σ 内に光源があり、偏光を考慮していないので X 方向の偏光と Y 方向の偏光が混ざって分布している。

【0060】

S 偏光となるのは、図 2 (a) に示すマスクパターンの結像においては矢印で示す Y 方向の偏光方向である。図 7 は光学系の瞳面を示し、設定した有効光源領域 ($\leq \sigma_{MAX}$) を白で示す。投影光学系 140 から液体 180 へ θ_1 の角度で射出する光は、正規化された有効光源座標上では \sin 瞳上の有効光源において、

$\theta_1 / \sin \theta_{NA}$ の位置に入射する。図 2 (a) に示すマスクパターンは解像力の指標であるレーリーの式の k_1 ファクター ($= R / (\lambda / NA)$) で 0.5 以下の十分に微細なパターンで、図中の点線で結んだ 2 つの黒丸が 0 次と 1 次、または -1 次と 0 次の 2 光束干渉のペアを示している。2 つの黒丸の間の距離は先の正規化された座標系で $1 / (2 k_1)$ で示される。また、線分の延びている方向は個々の微細パターンの延びている方向と直交する方向である。

【0061】

液浸では前述したようにこれらの 2 光束ペアが $\sin \phi = 0.7$ 近傍の角度をなして、P 偏光で全くコントラストを持たない場合が存在する。従って、このようなペアの存在する領域では偏光方向を S 偏光である Y 方向のみに制御すると、像のコントラストを向上させることができる。このようにパターンに応じて偏光方向を制御すべき領域を斜線領域として示す。斜線領域は 2 つの黒丸のうち 0 次光を示す一方の黒丸が有効光源を示す白い部分に入っており、 ± 1 次光を示す他方の黒丸が瞳の中に入っていることが条件である。斜線領域は、黒丸間の距離 $1 / (2 k_1)$ の線分の両端の存在域を条件で探すことによって発見される。この場合、2 つの斜線領域は 2 つの円が交差してそれぞれ尖った非対称形のカヌーのような形をしている。この時、X 軸上の境界を求めると、液体 180 中の角度 θ が次の条件を満足することが本実施形態の特徴である。

【0062】

【数 8】

$$\sin (90^\circ - \theta_{NA}) \leq \sin \theta \leq \sigma_{MAX} \sin \theta_{NA}$$

【0063】

ここで、 σ_{MAX} は、設定した有効光源分布の一番外側に対応するパラメータで、 $\sigma_{MAX} \sin \theta_{NA}$ が照明光の最大角に対応する。

【0064】

図7においては、領域の外側の線は設定した最大有効光源 σ_{MAX} を半径とし、 $X=0$ を中心とした円であり、一方、内側は、瞳の大きさを示す半径1、 $X=-(\sigma_{IN}+1)$ を中心とした円である。数式7より、 σ_{IN} は、以下の式で表される。

【0065】

【数9】

$$\sigma_{IN} = \sin(90^\circ - \theta_{NA}) / \sin \theta_{NA}$$

【0066】

即ち、S偏光にすべき領域は、 $X=0$ を中心とし、最大有効光源 σ_{MAX} を半径とした円と $X=\pm(\sigma_{IN}+1)$ を中心とし、半径1の円の交わる領域である。但し、図8は、中心が $X=-(\sigma_{IN}+1)$ 、半径1の円の片側のみを示している。

【0067】

数式8は瞳のX軸またはY軸の軸上でのみ角度範囲を規定しているが、投影光学系の光軸方向に平行な平面にそって入射する光を考えると軸上以外のX軸またはY軸に平行な平面も存在するから、X軸上でないX軸と平行なXZ平面における入射光束の角度範囲を考えると、 $\alpha \leq \theta \leq \theta_{NA}$ となり角度の最小値 α はYの関数となる。

【0068】

角度の最小値 α を得る座標は半径1、中心が $X=X_1$ あるいは $X=X_2$ 、 $Y=0$ を中心とした円上にあり、 $X_1=+(\sigma_{IN}+1)$ 、 $X_2=-(\sigma_{IN}+1)$ であるから、 $X=X_1$ を中心とした円のみを考えると、 $(X-X_1)^2+Y^2=1$ 、 $X=X_1 \pm \sqrt{(1-Y)^2}$ 、 $X \leq 1$ では $X=X_1 - \sqrt{(1-Y)^2}$ 、また $\alpha = \tan^{-1}(Y/X)$ であるから ($0 \leq \alpha \leq 45^\circ$)、 $\alpha = \tan^{-1}(Y/X) = \tan^{-1}(Y/(X_1 - \sqrt{(1-Y)^2}))$ 、したがって、X軸上以外のX軸に平行なXZ面に対して角度範囲は以下ようになる。 $\alpha \leq \theta \leq \theta_{NA}$ 、($0 \leq \alpha \leq 45^\circ$)、 $\alpha = \tan^{-1}(Y/X) = \tan^{-1}(Y/(X_1 - \sqrt{(1-Y)^2}))$ 、 $X_1=+(\sigma_{IN}+1)$ 、 σ_{IN} は数式9より

求まる。

【0069】

$\sigma_{IN} = \sin(90^\circ - \theta_{NA}) / \sin \theta_{NA}$ 、この角度範囲内ではS偏光、すなわち、XZ面に対して垂直なY方向の直線偏光のみとしなければならない。

【0070】

一方、 $\sin \theta_1 \leq \sin(90^\circ - \theta_{NA})$ を満足する θ_1 という角度で光線を液浸媒質中に射出させる入射角度の小さな照明光は、微細パターンの形成には寄与せず、回折角が小さい2光束結像、もしくは3光束等の多光束干渉による像形成のほうに寄与する。この場合には、結像に関与する光束の角度の相対関係が小さいため、偏光の効果が小さく、偏光の制御を特に考慮しなくてもいい。即ち、この領域は無偏光でも、X方向の偏光としても、Y方向の偏光としてもよい。

【0071】

従って、有効光源の存在領域のうちで斜線部分に入射する光のみに対し偏光を考慮するというのが本実施形態の特徴である。図4(a)に示すように、これらの斜線の領域同士はY軸に関して対称で、偏光方向はS偏光となるY方向、即ち、投影光学系140の瞳142を表す円の中では切線方向になっている。

【0072】

また、図2(b)に示すようなX方向に平行なマスクパターンに対しては、図4(b)に示すように、図4(a)を90°回転した形になり、斜線領域同士はX軸に関して対称で、偏光方向がS偏光であるX方向となる。Y軸上の境界はX軸に関して先に求めた境界条件としての数式8と同一である。

【0073】

また、図2(c)に示すように、同じ微細さを持ったX方向に平行なマスクパターンとY方向に平行なマスクパターンが混在している場合には、図5(a)に示すように、斜線領域はX軸及びY軸に関して対称で、偏光方向はS偏光となる接線方向のX及びY方向となっている。またX軸、Y軸上の境界点は数式8を満足している。 θ_{NA} が大きくなって、図5(b)に示すように、X方向のS偏光

領域と Y 方向の S 偏光領域が重なった部分は無偏光領域にしてもいいし、強度ゼロにして光源の分布をなくしてもいい。また、図 5 (c) に示すように、その中心を境界にして偏光状態をわけてもいい。また、図 5 (d) に示すように、有効光源に偏光方向の分布を持たしても効果は同様である。

【0074】

図 2 (a) に示すように、マスクパターンの大きさが微細なものに限定され、マスクパターンの方向が 1 方向である場合、最適な有効光源は中心部分を除いた図 8 (a) に示すような 2 重極照明が適当である。図 8 (a) の有効光源は X 軸上で数式 8 を満足し、0 次光が斜線の光源領域を入射するともう一方の +1 次光あるいは -1 次光がすべて瞳を透過するので、最も瞳における光源入射領域が大きく、しかも 2 光束がもれなく入射するので無駄なく結像に関与する。他には 2 重極としては X 軸上で数式 8 を満足していればよいので、図 8 (b) に示す円を直線で切り出した形状、図 8 (d) に示す輪帯を直線で部分的に切り出した形、図 8 (c) に示す円形のような種々の形状を適用することができる。なお、図 8 においては、斜線部が偏光制御された透光部であり、灰色部が遮光部である。

【0075】

パターンの大きさが微細なものに限定されている、図 2 (c) に示すマスクパターンの方向が複数のパターンに対して最適な有効光源として図 5 に示す例を示したが、図 9 に示すような輪帯照明でも目的を達成することができる。ここで、図 9 (a) 及び図 9 (b) においては、斜線部が偏光制御されており、灰色部は遮光部である。図 9 (a) の白色部は透光部である。この時、輪帯照明の外側と内側の径は X 軸、及び Y 軸上で数式 12 を満足する範囲内に設定され、偏光方向は図に示したように切線方向に設定される。 $\pm 45^\circ$ の部分に位置する偏光の境界部は無偏光でも、ここで X と Y 方向の偏光方向が入れ替わってもよい。

【0076】

また、XY 軸に対して 45° 傾いた斜めの方向も混在しているパターンに関しては図 10 に示すようなパターンの方向に応じて数式 12 を満たす領域を S 偏光にするとよい。この場合、 45° 方向については XY 軸と 45° 傾いた方向に軸を再設定して数式 12 の適用をチェックする。

【0077】

実際の光学系では熱収差の問題等で、投影光学系140の中に偏光素子を挿入するのは難しい。従って、本実施形態は、レチクル130よりも前段で有効光源の所定の領域の偏光を制御する。たとえば、オプティカルインテグレーター118の前段に設けた偏光制御手段117を利用して偏光を制御する。オプティカルインテグレーター118には投影光学系140の瞳142に共役な部分も存在しており、オプティカルインテグレーター118の個所で偏光を制御するのが光学系の構成を単純化する上で好ましい。また、有効光源の形状は開口絞り120で調節する。また開口絞り120のところで偏光を制御しても良い。

【0078】

投影光学系140は特殊な例を除いては光学系自体にX方向やY方向が適するといった偏光の方向性を持っていない。従って、従来の非液浸系では、照明光は偏光特性を持たないように処理され、有効光源において半径 σ ($\sigma \leq 1$) 以下の照明領域においてP偏光やS偏光といった特殊な状態を持たない無偏光状態でも大きな影響はなかった。しかし、液浸の場合は結像における光束の周波数成分を考えると、X方向やY方向のパターンの結像に好適な偏光特性が極座標系では生じていることが分かる。この特性がこれまで説明してきた切線方向の偏光特性すなわちS偏光特性であり、光学系の瞳周辺同士が干渉して作る高周波数成分と低周波数成分に対応する内側部分でP偏光の悪化の度合いが異なっている。

【0079】

そのために、投影光学系140の瞳142の内側の低周波数成分では偏光方向によるコントラストの低下が少なく、偏光の影響を考えなくてよい。従って、微細でないパターンの結像では、方向性のない無偏光状態の光でもS偏光でもP偏光でも解像性能に与える影響は少なく、偏光を無視して光学系の構成しやすい状態を作り出せばよい。

【0080】

従って、本実施形態で提案した図4、図5、図8乃至図10に示す有効光源形状では、S偏光にすると好適な斜線部以外の有効光源上の領域は任意の偏光状態でよい。S偏光にするべき領域の取り方はパターンの方向の数によって定まり、

領域の軸はパターンの延びている方向と直交する方向の軸上について数式 8 で決定される。即ち、パターンの方向が一方向なら S 偏光にする領域は 2 つで図 4 で示される。パターンの方向が二方向なら S 偏光にする領域はオーバーラップも含めて 4 つになり図 5 で示される。パターンの方向が三方向なら S 偏光にするべき領域は図 10 に示されるように殆ど輪帯状の形状となる。

パターンが大きなパターンを含まず微細なパターンのみで構成される場合には、図 8 及び図 9 に示す有効光源形状とすると微細な解像力の向上効果が得られる。S 偏光にすべき領域の選び方は図 4 及び図 5 と同一であるが、中心部が遮光されている点が大きく異なる。

【0081】

本実施形態では、図 4、図 5、図 8 乃至図 10 に示す有効光源形状を開口絞り 120 の開口形状によって実現している。従って、これらの有効光源形状は、開口絞り 120 の光透過と遮光部の形状として具体化される。また、本実施形態はこれらの複数の有効光源形状を有する複数の種類の開口絞りをターレット上に配置して、アクチュエータ 121 により切替可能な構成としている。また、偏光素子についても、開口絞りの開口形状に対応する形状に偏光素子を有する複数の種類の偏光素子をターレット上に配置して、図示しないアクチュエータにより切替可能な構成としている。このような開口絞り 120 や偏光素子を有する照明光学系及び露光装置、偏光を制御した露光方法を行うことができる露光モードを有する露光装置も本発明の一側面を構成する。

【0082】

露光において、レーザー 112 から発せられた光束は、ビーム成形系 114 によりそのビーム形状が所望のものに成形された後で、照明光学系に入射する。集光光学系 116 は、それを通過した光束をオプティカルインテグレーター 118 に効率よく導入する。その際、露光量調節部が照明光の露光量を調節する。

【0083】

また、主制御ユニット 150 は、ユーザがモニタ及び入力装置 152 の入力装置を介してマスクパターンの情報をいれるか、かかる情報をマスクに形成されたバーコードなどを読み取ることによって認識し、マスクパターンに適した照明条

件としての開口形状と偏光状態を、偏光制御手段 117 の図示しないアクチュエータと開口絞り 120 のアクチュエータ 121 を駆動することによって選択する。例えば、主制御ユニット 150 は、図 2 (a) のマスクパターンに対しては図 4 (a) の偏光状態を設定するなどである。

【0084】

オプティカルインテグレーター 118 は照明光を均一化し、開口絞り 120 は、所望の有効光源形状を設定する。かかる照明光は集光レンズ 122、折り曲げミラー 124、マスキングブレード 126、結像レンズ 128 を介してマスク 200 を最適な照明条件で照明する。

【0085】

マスク 130 には、図 2 や 45 度方向に延びるパターンなどが形成されている。マスク 130 を通過した光束は投影光学系 140 の結像作用によって、ウェハ 170 上に所定倍率で縮小投影される。ステップアンドスキャン方式の露光装置であれば、光源 112 と投影光学系 140 は固定して、マスク 130 とウェハ 170 を同期走査してショット全体を露光する。更に、ウェハステージ 176 をステップして、次のショットに移り、ウェハ 170 上に多数のショットを露光転写する。なお、露光装置がステップアンドリピート方式を採用すれば、マスク 130 とウェハ 170 を静止させた状態で露光を行う。

【0086】

投影光学系 140 のウェハ 170 への最終面は空気よりも屈折率の高い液体 180 に浸漬されているので、投影光学系 140 の NA は高くなり、ウェハ 170 に形成される解像度も微細になる。また、偏光制御により、レジスト 172 上にはコントラストの高い像が形成される。これにより、露光装置 100 はレジストへのパターン転写を高精度に行って高品位なデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【0087】

【実施例】

【実施例 1】

以下、液浸型の露光装置 100 を用いて本発明の第 1 の実施例を説明する。か

かる露光装置 100 は、ArF エキシマレーザー（波長 193 nm）を光源 112 に使用し、投影光学系 140 は開口数 1.32 を有し、液体中の最大角 θ_{NA} は $\sin \theta_{NA} = 0.9$ を満足する。また、液体 180 の屈折率は 1.47 であり、照明系の $\sigma_{MAX} = 0.9$ である。投影露光装置は縮小投影露光が一般的である。縮小投影露光の場合、作成したいパターンサイズとマスクパターンは露光装置に依存した倍率だけ異なるが、以下、マスク 130 上のパターンサイズについてもウェハ 170 上の寸法に換算して説明する。

【0088】

図 2 (c) に示すような線幅と間隔が等しい X 方向及び Y 方向のラインアンドスペース（以下、「L/S」と略す。）パターンが混在したマスクパターンにおいて、線幅と間隔、即ち、ピッチを変えていった場合のコントラスト深度（ μm ）を図 11 (a) 及び図 11 (b) に示す。

【0089】

この時、 $\sin \theta_{NA} = 0.9$ においては $\theta_{NA} = 64^\circ$ であった。 $\sin (90^\circ - \theta_{NA}) / \sin \theta_{NA} = 0.44 / 0.9 = 0.49$ であり、数式 8 に対応する、パターンの方向に対応した軸上での S 偏光のみの入射領域に対応する σ の値は $0.44 / 0.9 \leq \sigma \leq \sigma_{MAX}$ より、略 $0.5 \leq \sigma \leq 0.9$ の範囲を S 偏光領域となるように照明系を設計すればよいことになる。

【0090】

図 6 に示す $\sigma_{MAX} = 0.9$ の無偏光円形有効光源に対し、図 5 (d) に示すような $0.5 \leq \sigma \leq 0.9$ を図中のような切線方向の偏光として σ の値で 0.5 以下の内側を無偏光円形有効光源とした場合のコントラスト深度（ μm ）を図 11 (a) に示す。偏光状態を制御することで、微細な線幅で深度が増加し、限界解像が伸びているとともに、線幅が大ききところでは深度がほとんど変化せず、微細な線幅のみ深度の向上効果が確認される。微細なパターンを解像する上で、無偏光状態におけるようなコントラスト低下は大きな問題であるが、偏光を制御した有効光源を用いることにより微細なパターンを解像できるようになることがわかった。

【0091】

図6に示す $\sigma_{MAX}=0.9$ の無偏光円形有効光源に対し、図9(b)に示すような $0.5 \leq \sigma \leq 0.9$ を図中のような接線方向の偏光として σ の値で0.5以下の内側を遮光した輪帯照明の場合のコントラスト深度(μm)を図11(b)に示す。 $\sigma \leq 0.5$ を遮光し、光学系の瞳の内側の低周波数成分をカットしたことで、線幅の大きなパターンの深度が低下する代わりに微細な線幅のパターンの深度が増加し、限界解像が大きく伸びていることから、線幅が微細なパターンのみで構成されている場合にはS偏光領域以外を遮光しても問題はない。遮光領域を広げS偏光領域の低周波数成分をカットしていくとこの傾向はより顕著になり、すなわち線幅の大きなパターンの深度がより低下し、微細な線幅のパターンの深度がより増加する。

【0092】

【実施例2】

以下、本発明の第2の実施例としての液浸型の露光装置を説明する。実施例1と同様に、かかる露光装置は、ArFエキシマレーザー(波長193nm)を光源112に使用し、投影光学系140は開口数1.32を有し、液体中の最大角は θ_{NA} は $\sin \theta_{NA}=0.9$ を満足する。また、液体180の屈折率は1.47であり、照明系の $\sigma_{MAX}=0.9$ である。

【0093】

図2(a)に示すような線幅と間隔が等しいY方向に平行なL/Sパターンの一方向のみのマスクパターンにおいて、線幅と間隔、即ち、ピッチを変えていった場合のコントラスト深度(μm)を図12(a)及び図12(b)に示す。

【0094】

この時、 $\sin \theta_{NA}=0.9$ では $\theta_{NA}=64^\circ$ であった。また、 $\sin(90^\circ - \theta_{NA}) / \sin \theta_{NA} = 0.44 / 0.9 = 0.49$ であり、数式8に対応する、パターンの方向に対応した軸上でのS偏光のみの入射領域に対応する σ の値を $0.44 / 0.9 \leq \sigma \leq \sigma_{MAX}$ より、ほぼ $0.5 \leq \sigma \leq 0.9$ の範囲をS偏光領域となるよう照明系を設計すればよいことになる。

【0095】

図6に示す $\sigma_{MAX}=0.9$ の無偏光円形有効光源に対し、図4(a)に示す

ような $0.5 \leq \sigma \leq 0.9$ を図中のような接線方向の偏光として σ の値で 0.5 以下の内側を無偏光円形有効光源とした場合のコントラスト深度 (μm) を図 12 (a) に示す。偏光状態を制御することで、微細な線幅で深度が増加し、限界解像が伸びているとともに、線幅が大きなところでは深度がほとんど変化せず、微細な線幅のみ深度の向上効果が確認される。パターンが一方向の場合は効果が大きい。微細なパターンを解像する上で、無偏光状態におけるようなコントラスト低下は大きな問題であるが、偏光を制御した有効光源を用いることにより微細なパターンを解像できるようになることがわかった。

【0096】

図 7 に示す $\sigma_{\text{MAX}} = 0.9$ の無偏光円形有効光源に対し、図 8 (c) に示すような $0.5 \leq \sigma \leq 0.9$ を図中のような切線中心位置が瞳座標系で $X = 0.7$ 、半径が 0.2 、の場合のコントラスト深度 (μm) を図 12 (b) に示す。 $\sigma \leq 0.5$ を遮光し、光学系の瞳の内側の低周波数成分をカットしたことで、線幅の大きなパターンの深度が低下する代わりに微細な線幅のパターンの深度が増加し、限界解像が大きく伸びていることから、線幅が微細なパターンのみで構成されている場合には S 偏光領域以外を遮光しても問題はない。また、二重極照明の形状を図 8 (a)、図 8 (b) 及び図 8 (d) にしてもほとんど同じ効果を示すので結果を省略する。微細なパターンを解像する上で、無偏光状態におけるようなコントラスト低下は大きな問題であるが、偏光を制御した有効光源を用いることにより微細なパターンを解像できるようになることがわかった。

【0097】

本実施例では $NA = 1.32$ の場合について説明したが、この露光方法の効果は高 NA になればなるほど、また微細なパターンになればなるほど顕著に現れる。しかも、液浸光学系では P 偏光の結像コントラストが 0 になってしまうところがあるので、従来の投影光学系よりより顕著に現れることはいうまでもない。

【0098】

本実施形態では、液浸型の投影光学系特有の偏光について触れたが、液浸の場合のもう一つ大きな問題は液体 180 自体の揺らぎである。液体 180 の屈折率は n_0 としたが、揺らぎによってある塊の部分が、図 18 に示すように、屈折率

$n_0 + \Delta n$ を持っているとする。揺らぎがない時に比べ、揺らぎが入った時の波面収差の揺らぎの絶対値 ΔW は最大値として次式で表現される。

【0099】

【数10】

$$\Delta W = \Delta n \cdot d / \cos \theta_{MAX}$$

【0100】

ここで、 d は液浸媒質の厚さである。また、数式15よりも以下の数式11が導かれる。

【0101】

【数11】

$$d \leq (30m\lambda) \cos \theta_{MAX} / \Delta n$$

【0102】

ΔW の許容発生量を $30m\lambda$ として、 $\theta_{MAX} = 60^\circ$ 、波長 193nm 、 $\Delta n = 10\text{ppm}$ として、数式11より数値を代入すると、 $d \leq 3000\lambda \cos \theta_{NA} = 0.29\text{mm}$ となり、現実の値に近い数値が得られる。 d さえ小さければあらゆる揺らぎの影響は小さく抑えることができるため液浸のシステムではどこまで d を小さくできるかが大きな判断ポイントとなる。

【0103】

また、ArFエキシマレーザーでの液浸用の液体は純水が適している。しかしながら、液体と接触する投影光学系140の最もウェハ170に近い部分は、投影光学系140中で最も光エネルギーの集中する部分でもある。従って、コンパクション等、硝材の耐久性の問題から石英を使用することができず、蛍石を使用する必要がある。ところが、蛍石には潮解性があるため、水と接触するとダメージを受けてしまう。従来、ArFの領域では蛍石に蒸着法で膜を付けるのが通例であったが、蒸着による膜は多孔質であり、孔部を通して基板の蛍石がダメージを受けてしまう。そのため、本実施形態では、液体と接触する投影光学系140

の最終面にスパッタ膜を使用し、蛍石基板を保護すると共に反射防止も同時に達成することを特徴としている。このためには、例えば、 MgF_2 のような物質によるスパッタ膜が適している。

【0104】

次に、図14及び図15を参照して、上述の露光装置を利用したデバイス製造方法を説明する。図14は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いて本発明のリソグラフィー技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、それが出荷（ステップ7）される。

【0105】

図15は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重

に回路パターンが形成される。本発明のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、本発明のリソグラフィ技術を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。また、本発明は、かかるデバイス製造方法の中間及び最終結果物であるデバイス自体もカバーする趣旨である。また、かかるデバイスは、例えば、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサ、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0106】

以上、本発明の実施の形態を説明してきたが、本発明はこれらの実施の形態に限定されず、その要旨の範囲内において様々な変形及び変更が可能である。

【0107】

本出願は更に以下の事項を開示する。

【0108】

(実施態様1) 被露光体の表面及び投影光学系の最終面を液体に浸漬し、マスクに形成された繰り返しパターンを前記投影光学系により前記被露光体上に投影する露光方法において、

前記投影光学系の瞳に形成される有効光源のうちの前記繰り返しパターンの繰り返し方向に平行で且つ前記投影光学系の光軸に直交する軸上の部分から発して前記レジストに斜入射する光の前記被露光体への入射角を θ 、該入射角 θ の最大値を θ_{NA} とした時に、 $90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$ を満足する入射角 θ の範囲に対応する光がS偏光成分のみを有することを特徴とする露光方法。

【0109】

(実施態様2) マスクに形成されたパターンを被露光体に、少なくとも一部が液体に浸漬されて開口数 $n_0 \sin \theta_{NA}$ を有する投影光学系を利用して結像する露光方法において、

前記マスクに形成される前記パターンの繰り返し方向及び当該繰り返し方向に直交する方向の一方をX軸として他方をY軸とし、露光光の前記投影光学系への入射角を θ とした場合に、 $90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$ を満足する前記入射角 θ の範囲に対応する前記投影光学系の瞳に形成される有効光源上の領域が、前記X

軸又は前記 Y 軸に直交する方向の直線偏光成分を有するように、前記露光光を照射することを特徴とする露光方法。

【0110】

(実施態様 3) マスクに形成されたパターンを被露光体に、少なくとも一部が液体に浸漬された投影光学系を利用して結像する露光方法において、

結像する 2 つの露光光束に直交状態が発生しうる、前記投影光学系の瞳に形成される有効光源上の領域を S 偏光のみで照明することを特徴する露光方法。

【0111】

(実施態様 4) 前記領域は、2 つの円が交わることによって形成される、尖ったカヌー状の形状を有することを特徴とする実施態様 1 乃至 3 のうちいずれか一項記載の露光方法。

【0112】

(実施態様 5) 前記領域は、円を直線で部分的に切り出すことによって形成される形状を有することを特徴とする実施態様 1 乃至 3 のうちいずれか一項記載の露光方法。

【0113】

(実施態様 6) 前記領域は、輪帯を直線で部分的に切り出すことによって形成される形状を有することを特徴とする実施態様 1 乃至 3 のうちいずれか一項記載の露光方法。

【0114】

(実施態様 7) 前記領域は、円形形状を有することを特徴とする実施態様 1 乃至 3 のうちいずれか一項記載の露光方法。

【0115】

(実施態様 8) マスクに形成されたパターンを被露光体に、波長 λ の露光光と少なくとも一部が液体に浸漬されて開口数 $n_0 \sin \theta_{NA}$ を有する投影光学系とを利用して結像する露光方法において、

前記液体の厚さ d を $d \leq 3000 \lambda \cos \theta_{NA}$ を満足するように設定することを特徴する露光方法。

【0116】

(実施態様 9) マスクに形成されたパターンを被露光体に、少なくとも一部が液体に浸漬された投影光学系とを利用して結像する露光方法において、

前記投影光学系が前記液体と接触する最終面を前記液体から保護することを特徴とする露光方法。

【0117】

(実施態様 10) マスクに形成されたパターンを被露光体に結像する露光装置であって、

少なくとも一部が液体に浸漬されて開口数 $n_0 \sin \theta_{NA}$ を有する投影光学系と、

所定のコントラストを確保するように、露光光が前記投影光学系から出射する角度 θ が、 $90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$ を満足する範囲に対応する前記投影光学系の瞳に形成される有効光源上の領域の偏光状態を制御する偏光制御手段とを有することを特徴とする露光装置。

【0118】

(実施態様 11) マスクに形成されたパターンを被露光体に結像する露光装置であって、

少なくとも一部が液体に浸漬された投影光学系と、

結像する 2 つの露光光束に直交状態が発生しうる、前記投影光学系の瞳に形成される有効光源上の領域の露光光の偏光状態を、所定のコントラストを確保するように制御する偏光制御手段とを有することを特徴とする露光装置。

【0119】

(実施態様 12) 前記偏光制御手段は、前記偏光状態を S 偏光のみに制御することを特徴とする実施態様 10 又は 11 記載の露光装置。

【0120】

(実施態様 13) 前記偏光制御手段は、前記投影光学系の瞳面に略共役配置された偏光素子を含むことを特徴とする実施態様 10 又は 11 記載の露光装置。

【0121】

(実施態様 14) 前記偏光制御手段は、前記投影光学系の瞳面に略共役配置

置された開口絞りを含み、

当該開口絞りは、2つの円が交わることによって形成される、尖ったカヌー状の開口形状を有することを特徴とする実施態様10又は11記載の露光装置。

【0122】

(実施態様15) 前記偏光制御手段は、前記投影光学系の瞳面に略共役に配置された開口絞りを含み、

当該開口絞りは、円を直線で部分的に切り出すことによって形成される開口形状を有することを特徴とする実施態様10又は11記載の露光装置。

【0123】

(実施態様16) 前記偏光制御手段は、前記投影光学系の瞳面に略共役に配置された開口絞りを含み、

当該開口絞りは、輪帯を直線で部分的に切り出すことによって形成される開口形状を有することを特徴とする実施態様10又は11記載の露光装置。

【0124】

(実施態様17) 前記偏光制御手段は、前記投影光学系の瞳面に略共役に配置された開口絞りを含み、

当該開口絞りは、円形開口形状を有することを特徴とする実施態様10又は11記載の露光装置。

【0125】

(実施態様18) 前記所定のコントラストは0.7であることを特徴とする実施態様10又は11記載の露光装置。

【0126】

(実施態様19) 被露光体の表面及び投影光学系の最終面を液体に浸漬し、マスクパターンを前記投影光学系により前記被露光体上に投影する露光装置において、前記投影に用いる光の波長を λ (nm)、前記液体の屈折率を n_0 、前記投影光学系の開口数を $n_0 \sin \theta_0$ とを、前記液体の前記投影光学系の光軸方向の厚さを d とすると、 $d \leq 3000 \lambda \cos \theta_0$ を満足することを特徴する露光装置。

【0127】

(実施態様 20) 液体と接触する投影光学系の最終面は蛍石基板上の面であり、該最終面にスパッタ膜を形成することを特徴とする実施態様 19 記載の露光装置。

【0128】

(実施態様 21) 実施態様 10 乃至 20 のうちいずれか一項記載の露光装置を用いて前記被露光体を露光するステップと、

露光された前記被露光体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【0129】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、偏光の影響による結像性能の劣化を防止して所定のコントラストを確保し、所望のパターンを形成することができる液浸型の露光方法及び装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一実施形態としての露光装置の概略ブロック図である。

【図 2】 図 1 に示すマスクに形成されるパターンの幾つかの例を示す平面図である。

【図 3】 P 偏光及び S 偏光の効果について説明するための概念図である。

【図 4】 図 4 (a) 及び図 4 (b) は、それぞれ、図 2 (a) 及び図 2 (b) に示すマスクパターンを露光するための偏光を規定する有効光源分布である。

【図 5】 図 2 (c) に示すマスクパターンを露光するための偏光を規定する有効光源分布である。

【図 6】 有効光源の領域と偏光方向の関係を説明するための模式図である。

【図 7】 有効光源の領域と偏光方向の関係を説明するための模式図である。

【図 8】 図 2 (a) に示すマスクパターンが微細な大きさのみのもので構成されている場合の有効光源形状の一例を示す模式図である。

【図 9】 図 2 (c) に示すマスクパターンが微細な大きさのみのもので構成されている場合の有効光源形状の一例を示す模式図である。

【図 10】 様々な方向のパターンを解像するために用いられる有効光源形状の一例を示す模式図である。

【図 11】 図 2 (c) に示すマスクパターンにおいて、ピッチとコントラスト深度との関係を示すグラフである。

【図 12】 図 2 (a) に示すマスクパターンにおいて、ピッチとコントラスト深度との関係を示すグラフである。

【図 13】 図 1 に示す媒質（液体）の揺らぎを説明するための概略図である。

【図 14】 本発明の露光装置を有するデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図 15】 図 14 に示すステップ 4 の詳細なフローチャートである。

【図 16】 液侵型の露光における結像と偏光との関係を説明するための概略図である。

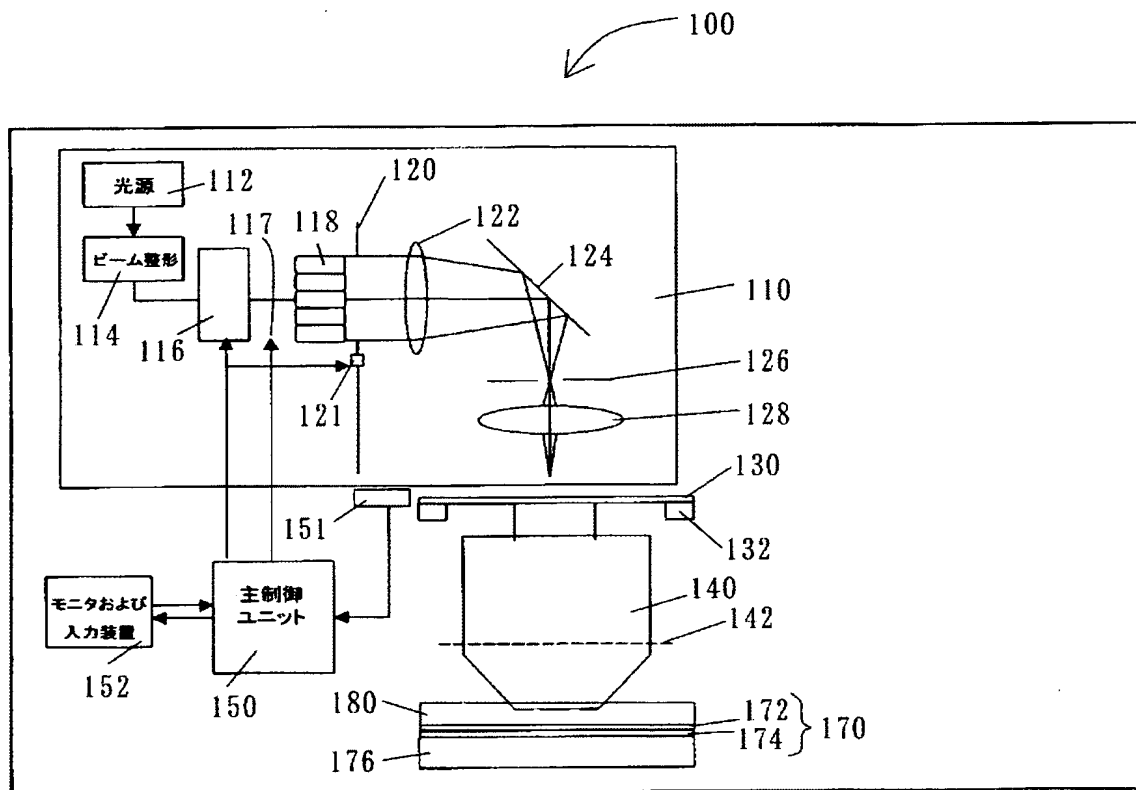
【符号の説明】

100	露光装置
112	光源
120	開口絞り
121	アクチュエータ
130	マスク又はレチクル
140	投影光学系
142	瞳（面）
150	主制御ユニット
170	ウェハ
172	レチクル
174	基板
180	媒質（液体）

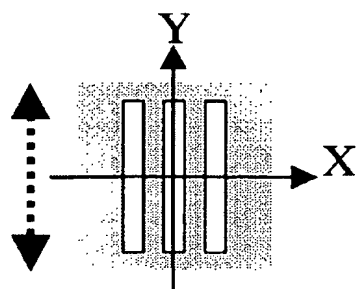
【書類名】

図面

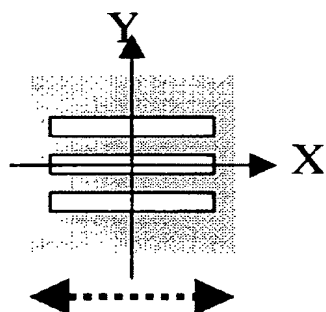
【圖 1】



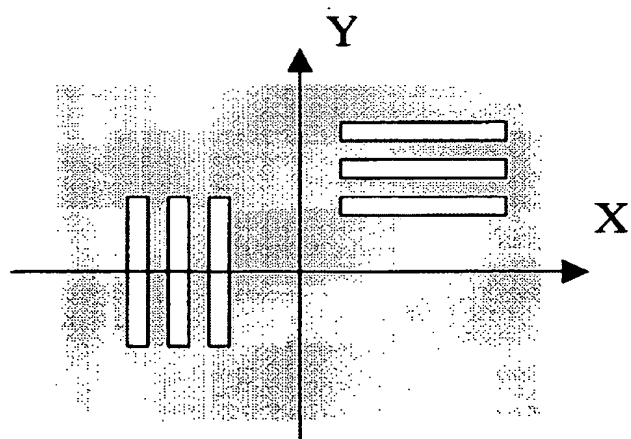
【図 2】



(a)

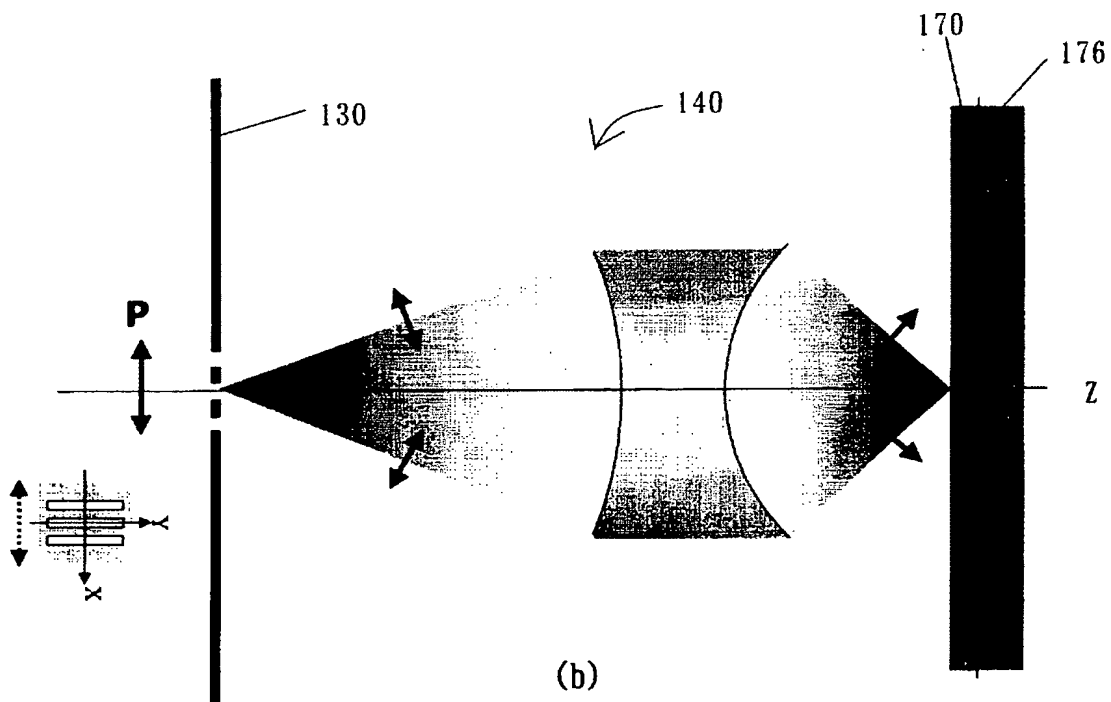
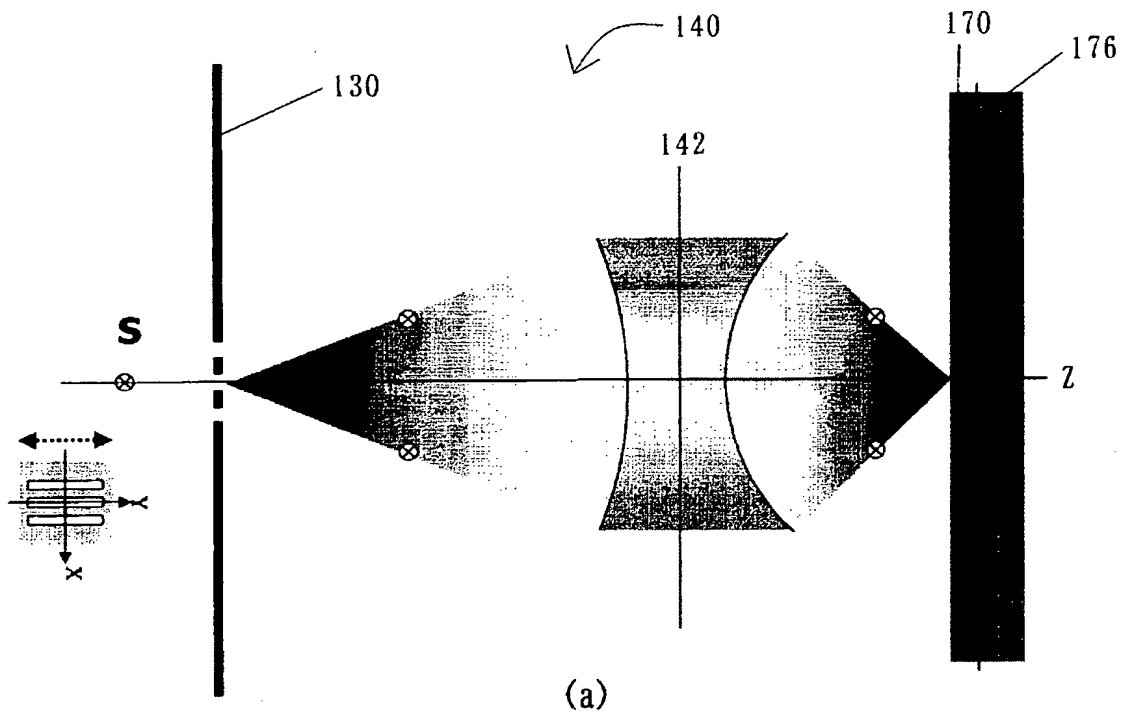


(b)

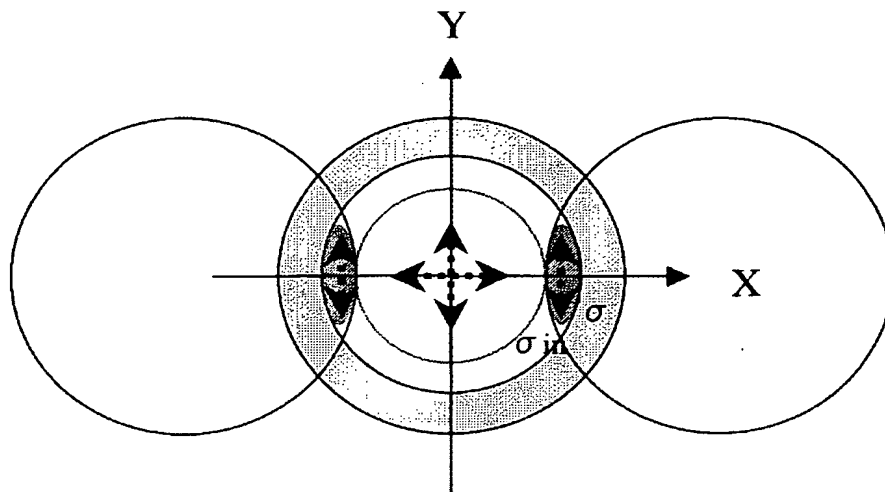


(c)

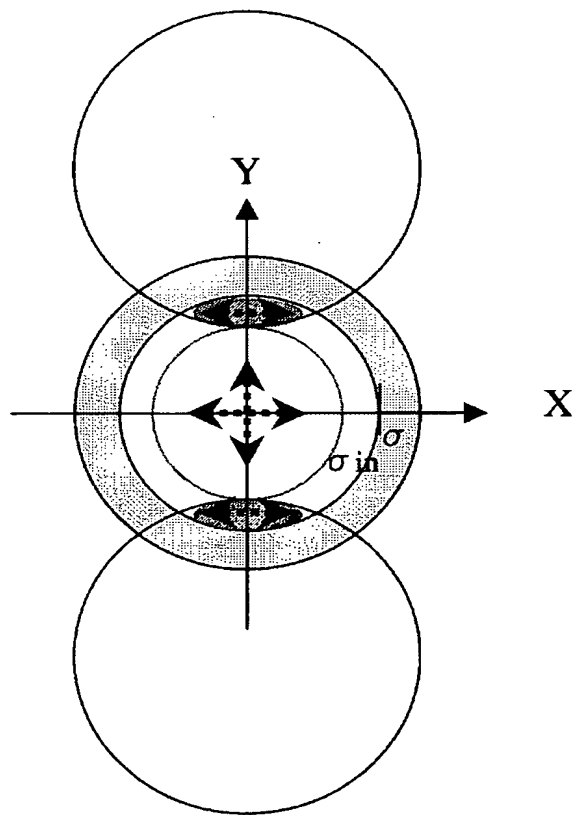
【図 3】



【図 4】

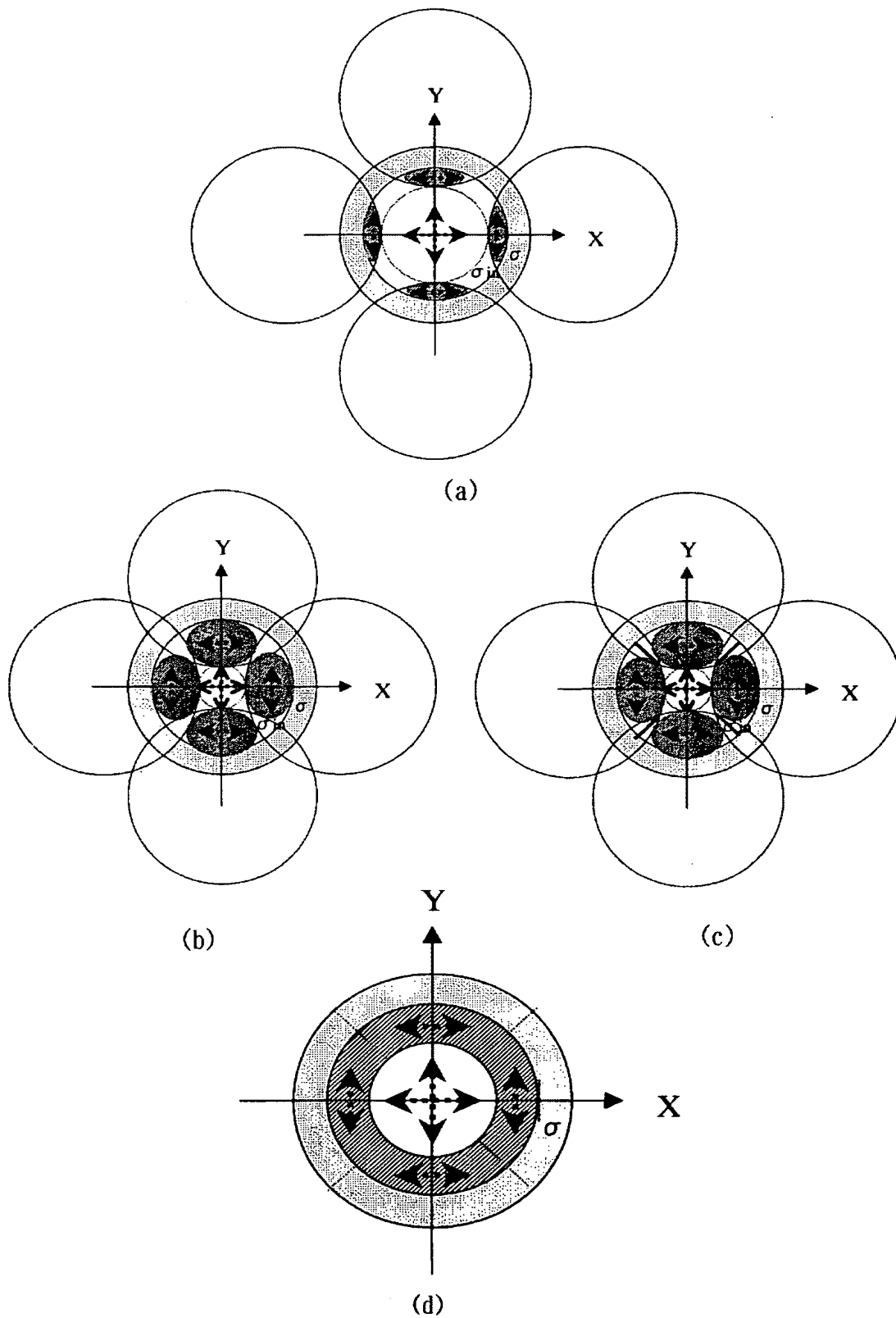


(a)

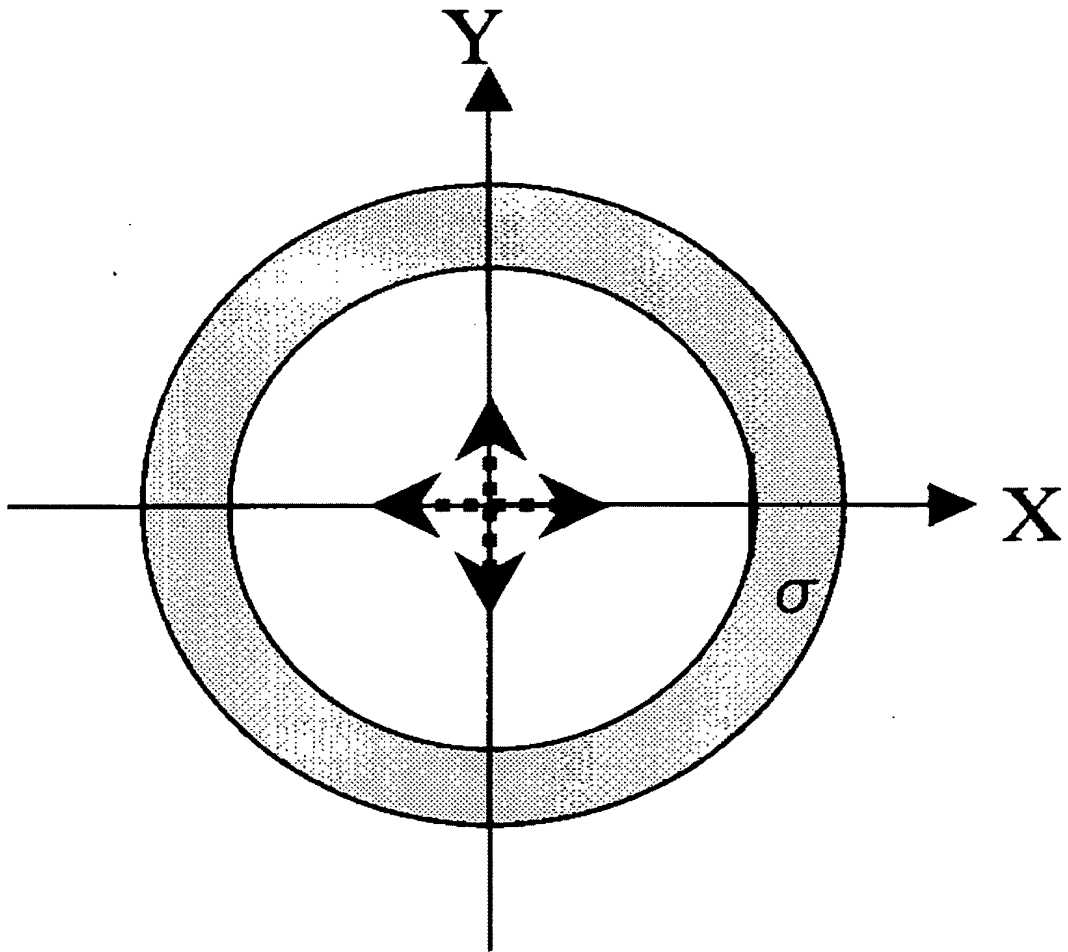


(b)

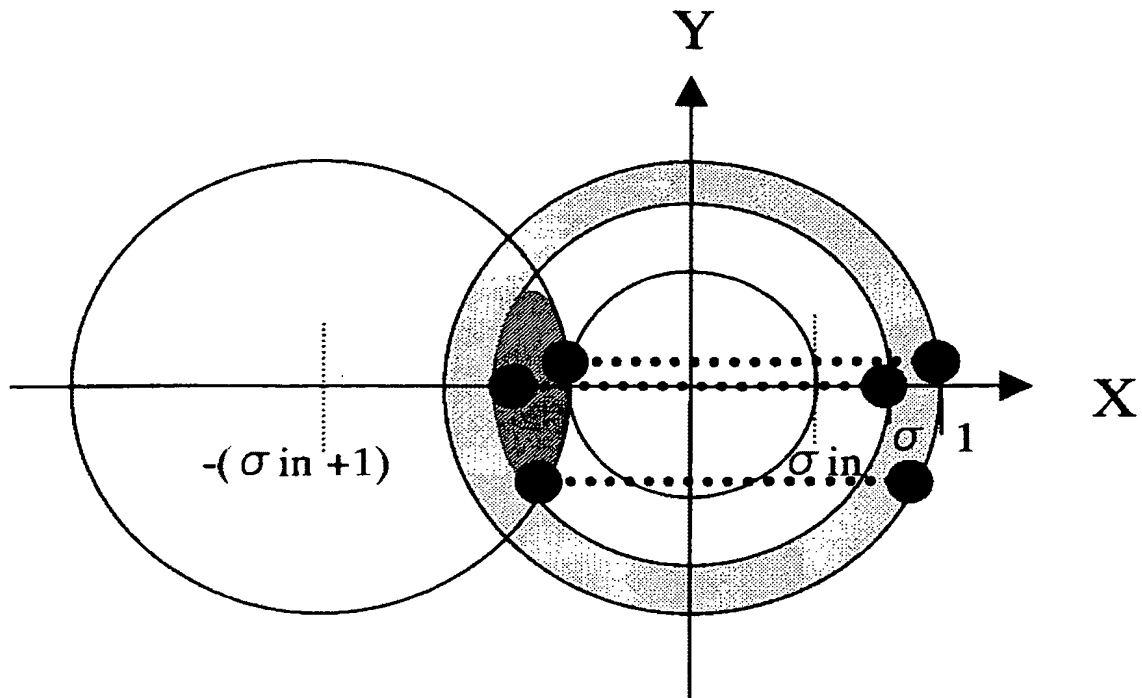
【図 5】



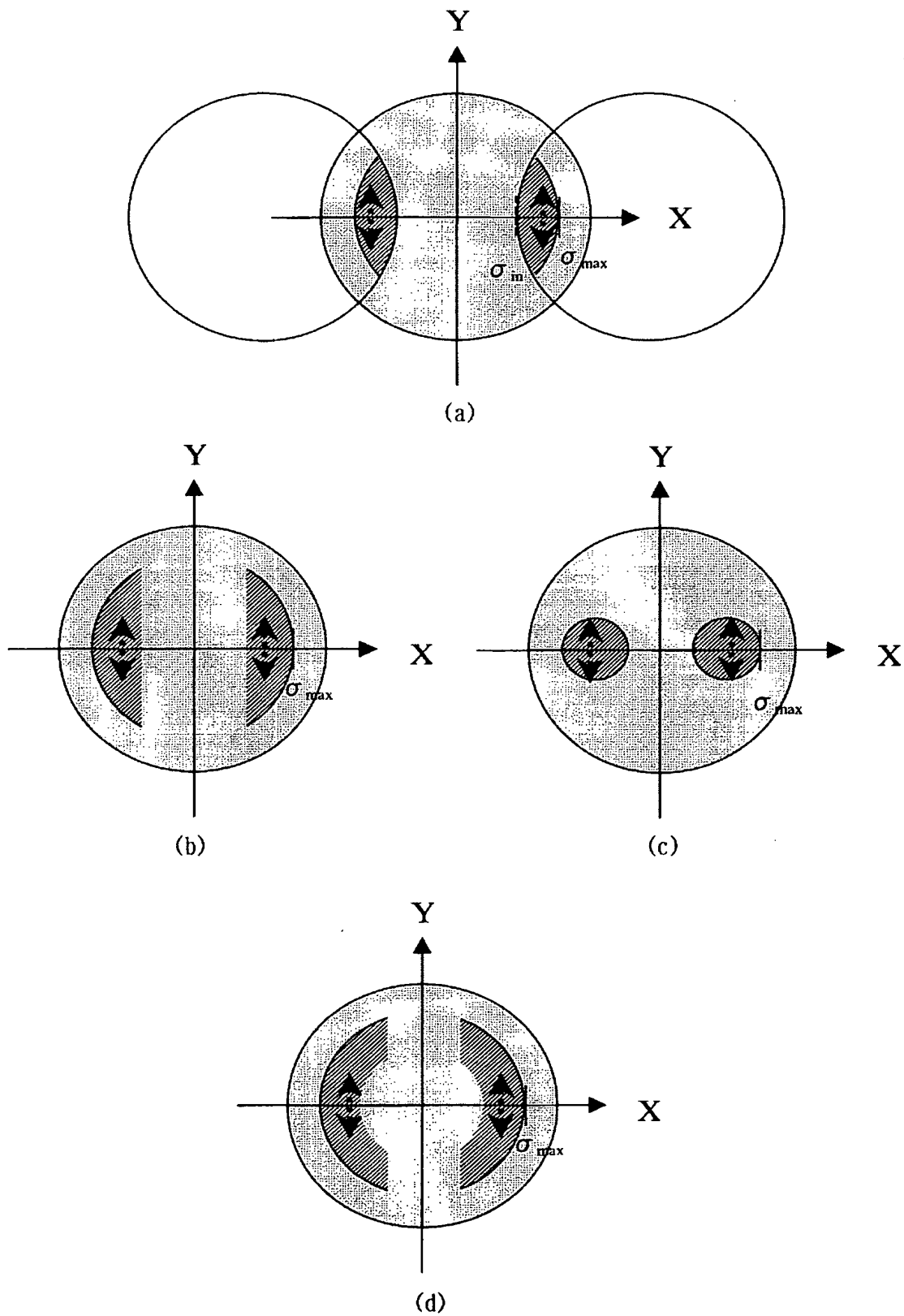
【図 6】



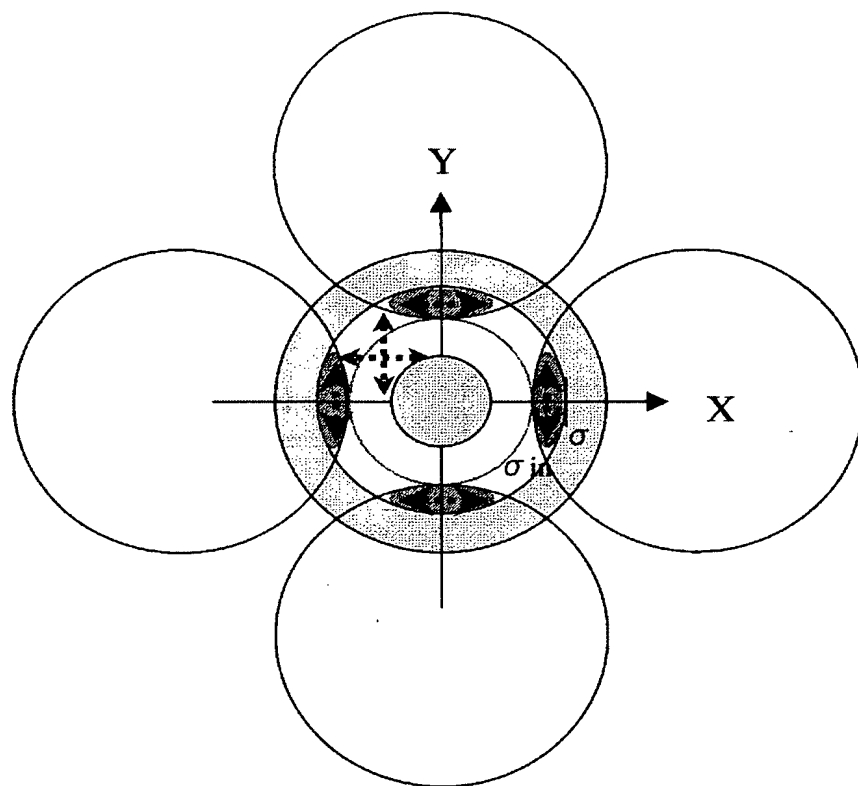
【図 7】



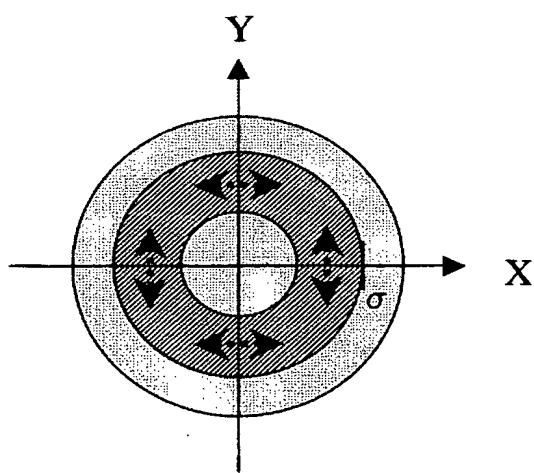
【図 8】



【図 9】

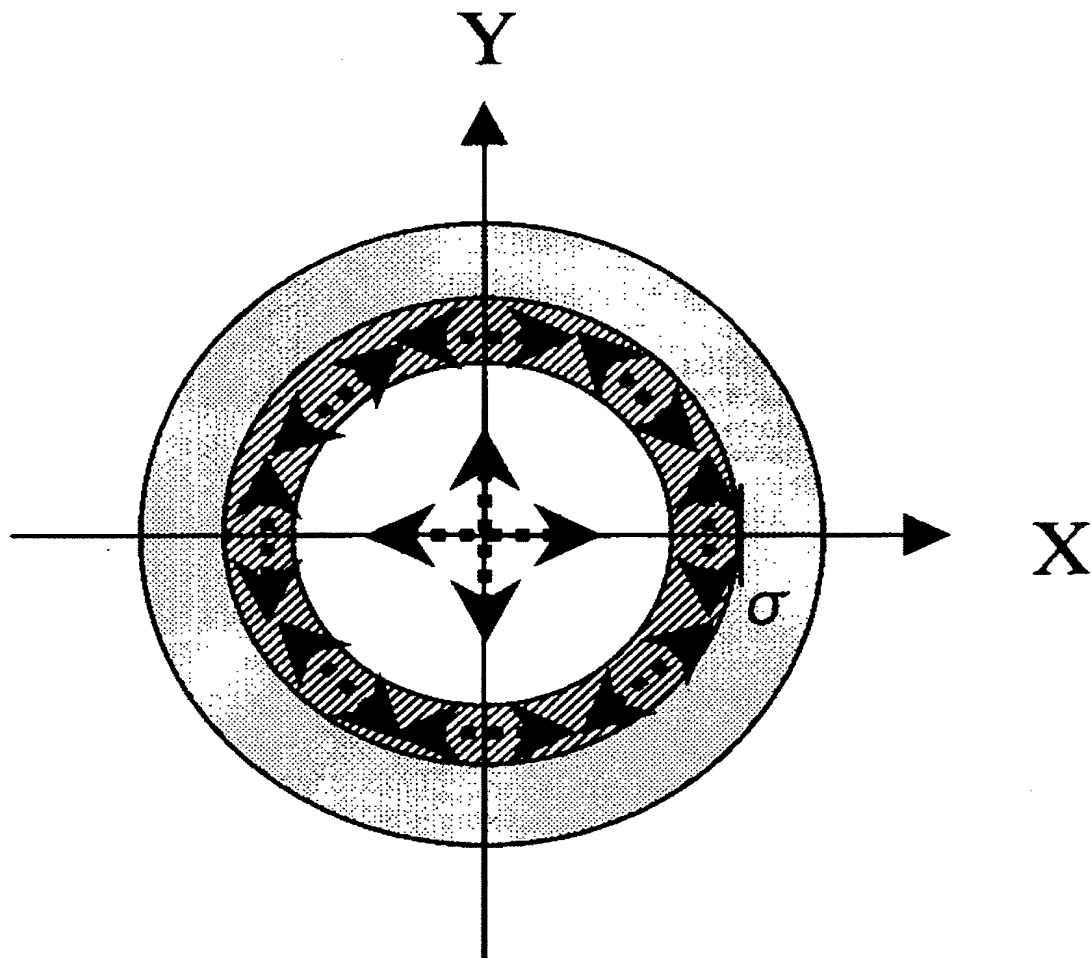


(a)

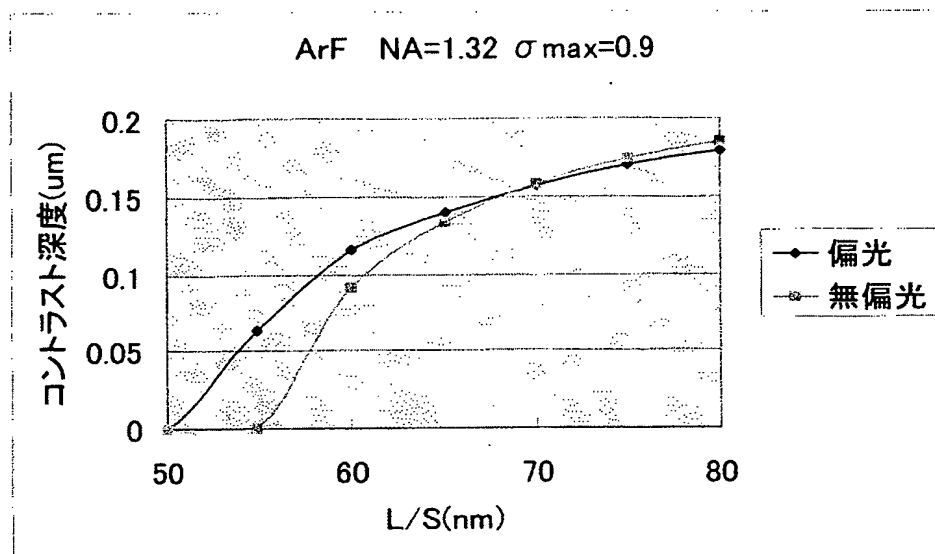


(b)

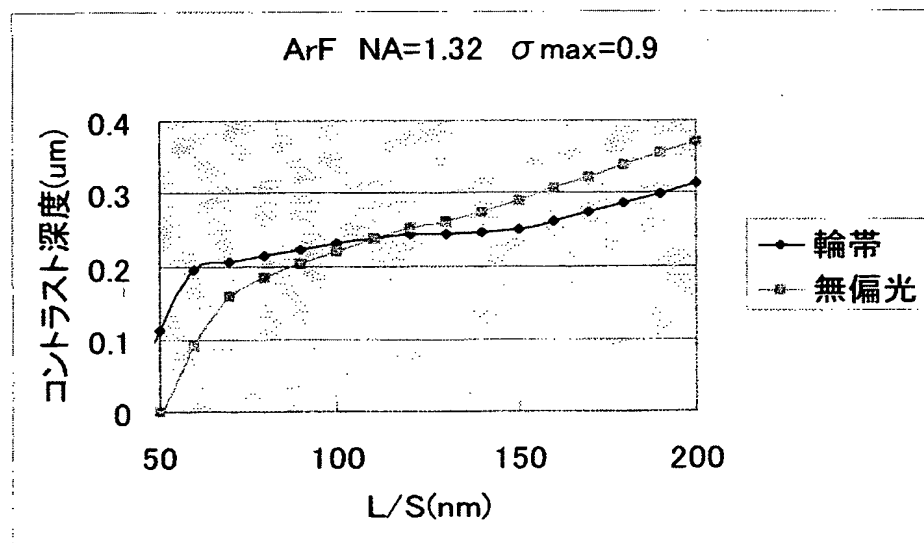
【図 10】



【図 11】

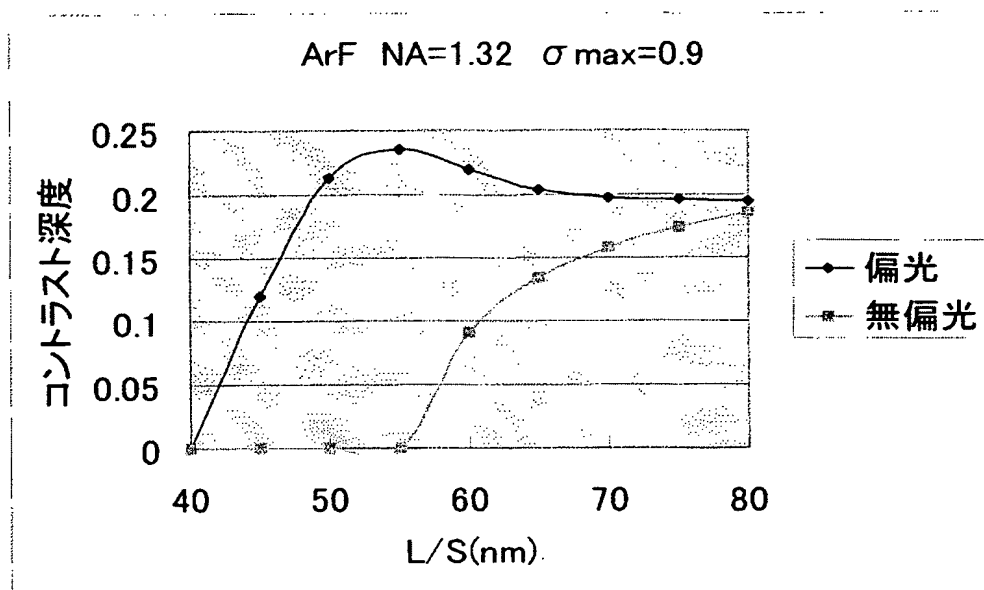


(a)

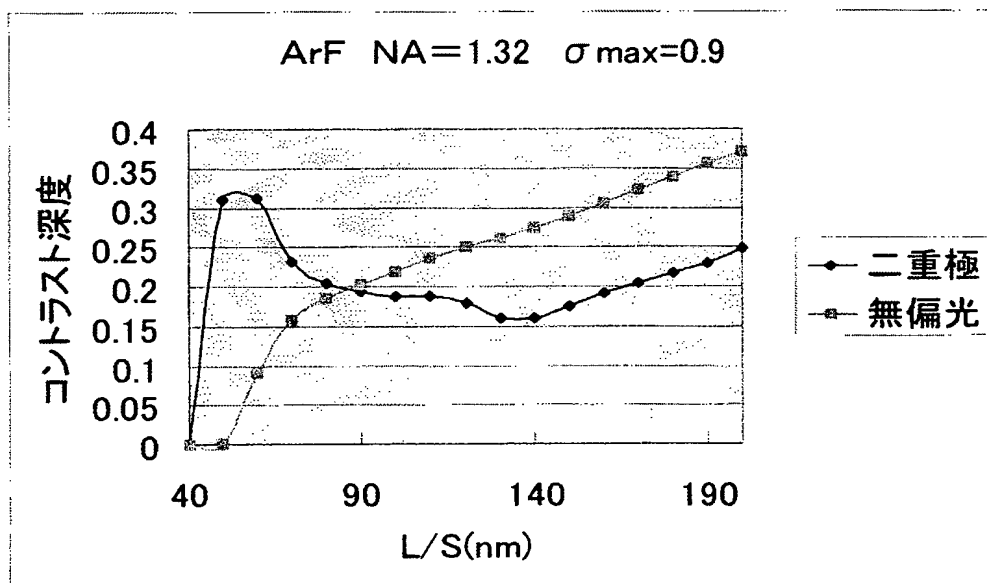


(b)

【図 12】

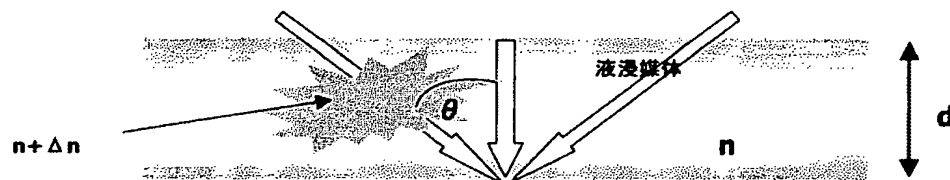


(a)

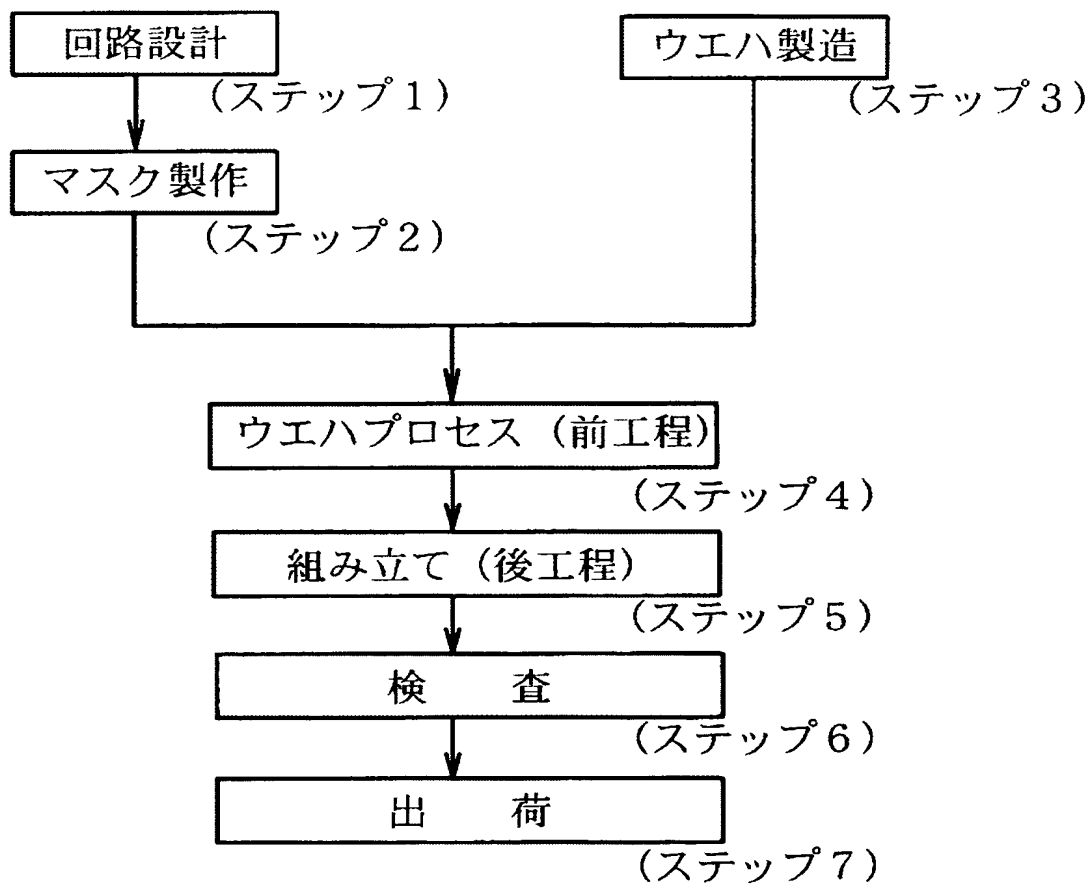


(b)

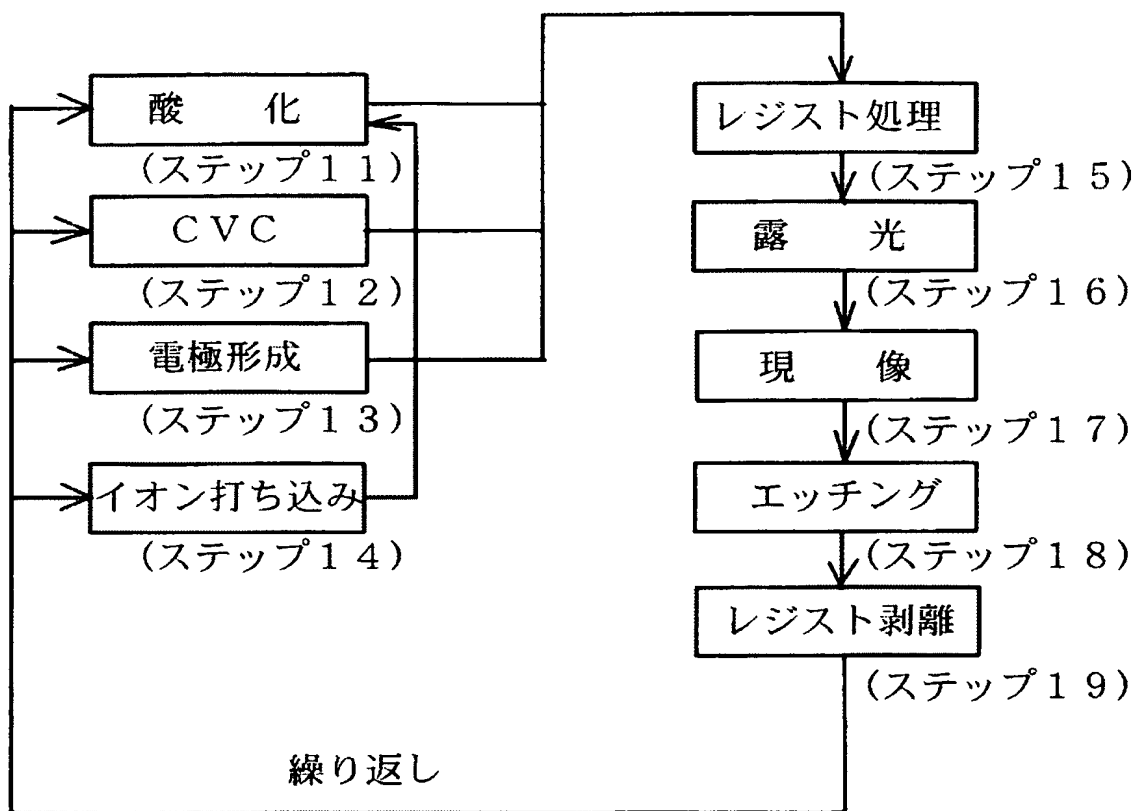
【図 13】



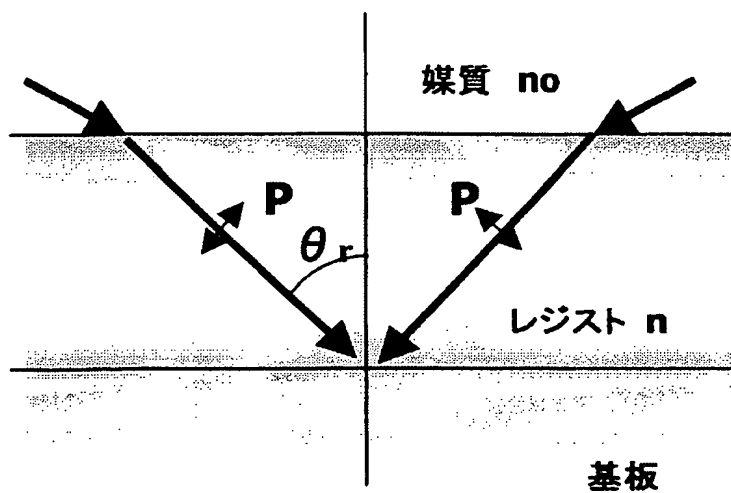
【図 14】



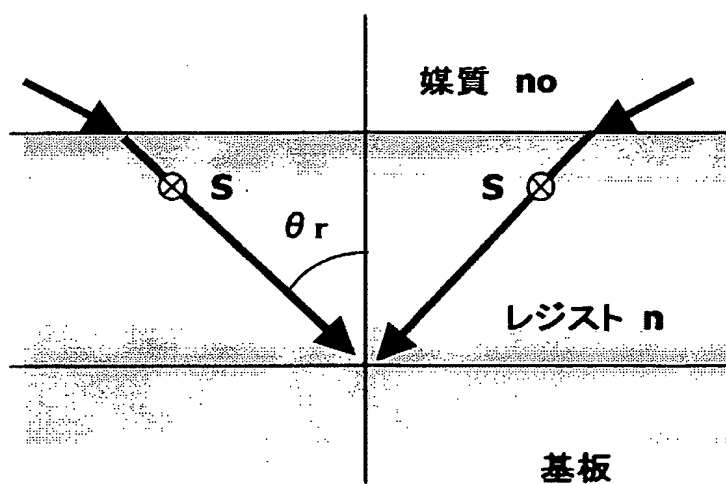
【図 15】



【図 16】



(a)



(b)

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 偏光の影響による結像性能の劣化を防止して所定のコントラストを確保し、所望のパターンを形成することができる液浸型の露光方法及び装置を提供する。

【解決手段】 被露光体の表面及び投影光学系の最終面を液体に浸漬し、マスクに形成された繰り返しパターンを前記投影光学系により前記被露光体上に投影する露光方法において、前記投影光学系の瞳に形成される有効光源のうちの前記繰り返しパターンの繰り返し方向に平行で且つ前記投影光学系の光軸に直交する軸上の部分から発して前記レジストに斜入射する光の前記被露光体への入射角を θ 、該入射角 θ の最大値を θ_{NA} とした時に、 $90^\circ - \theta_{NA} \leq \theta \leq \theta_{NA}$ を満足する入射角 θ の範囲に対応する光が S 偏光成分のみを有することを特徴とする露光方法を提供する。

【選択図】 図 1

【書類名】 手続補正書
【提出日】 平成14年12月17日
【あて先】 特許庁長官 殿
【事件の表示】

【出願番号】 特願2002-358764
【補正をする者】

【識別番号】 000001007
【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】
【識別番号】 100110412
【弁理士】
【氏名又は名称】 藤元 亮輔

【手続補正 1】

【補正対象書類名】 特許願
【補正対象項目名】 発明者
【補正方法】 変更

【補正の内容】

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会
社内

【氏名】 川島 美代子

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会
社内

【氏名】 鈴木 章義

【プルーフの要否】 要

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-358764
受付番号	50201905885
書類名	手続補正書
担当官	鈴木 夏生 6890
作成日	平成 15 年 4 月 8 日

<認定情報・付加情報>

【補正をする者】

【識別番号】 000001007

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100110412

【住所又は居所】 東京都中央区八丁堀四丁目 9 番 4 号 東京 S T ビ
ル 9 階 藤元国際特許事務所

【氏名又は名称】 藤元 亮輔

次頁無

特願 2 0 0 2 - 3 5 8 7 6 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

氏 名

キャノン株式会社